

المجلد 21 - العدد 9
سبتمبر (أيلول) 2005

SCIENTIFIC
AMERICAN

September 2005



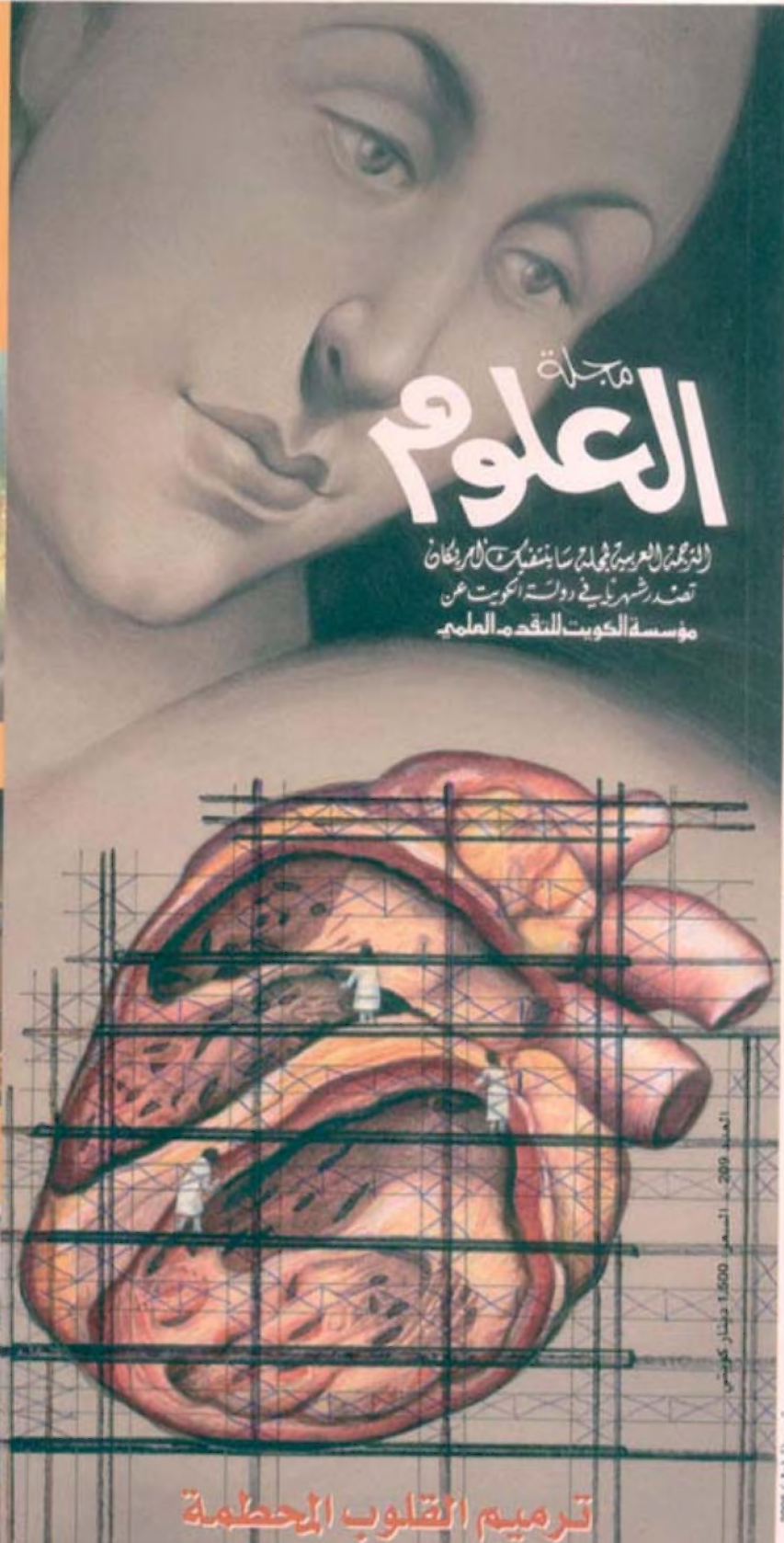
ثوابت فيزيائية متغيرة



توجه جديد في معالجات
مرض باركنسون



نحن سيارات تعمل
بخلايا الوقود الهيدروجيني



مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة سايينس الأمريكية
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

العدد 200 - السعور 1,500 دينار كويتي

ترميم القلوب المحطمة

ترجمة في مراجعة

الفعالة

ترميم القلوب المحطمة

<S. كوين> - <J. ليور>

محمود شعبان - رياض الطرزي

يوشك الحقل البازغ لهندسة النسيج أن يحقق أحد أكثر أهدافه طموحا:
بناء رقعة حية للقلب البشري.



4

تقليص حجم الدارات بالماء

<G. ستكس>

محمد دبس - حاتم النجدي

يعتمد مصنعو أشباه الموصلات إلى تغليس منتجاتهم في سائل من أجل
الحصول على شيبات أسرع وأصغر وأرخص.



12

نحو سيارات تعمل بالهيدروجين

<S. أشلي>

نزار الرئيس - فاروق بدرخان

يطور صانعو السيارات أساطيل منها تعمل بوقود هيدروجيني نظيف، لكن هناك عوائق
تقنية وتسويقية أساسية سوف تحول دون وصول مثل هذه السيارات إلى صالات
العرض لسنوات عدة.



16

توجه جديد في معالجات مرض باركنسون

<M.A. لوزانو> - <S.K. كاليا>

زياد القطب - عدنان الحموي

ثمة اكتشافات جينية وخلوية حديثة بين التقدمات في تحديد معالجات محسنة
بخصوص هذا الاضطراب المتزايد انتشاره.



24

ثوابت فيزيائية متغيرة

<D.J. بارو> - <J.K. ويب>

أحمد فؤاد باشا - إبراهيم بلال

من المفارقات، أن الثوابت الفيزيائية التي تحدد الكيفية التي تعمل الطبيعة وفقها
ربما تغيرت عبر بلايين السنين محدثة آثارا عميقة في الكون.



32

46 بدايات الفكر الحديث <K>. وونگ

خضر الأحمد - عدنان الحموي



اكتشافات حديثة مثيرة للجدل توحي بأن تفكيرنا الرمزي (المعتمد على الرموز)، الذي كان يُظن أنه ظهر لدى نوعنا البشري قبل نحو 40 000 سنة، قد نشأ في الواقع قبل ذلك بكثير.

56 تكوين أسنان في أنابيب الاختبار <T.P>. شارپ - <S.C>. يونگ

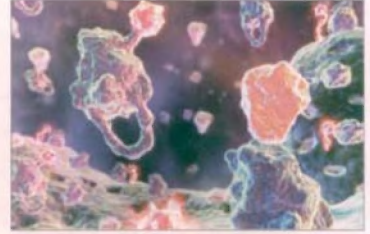
أحمد اللولو - صبحي الصباغ



إن تصنيع أسنان بديلة حية سوف يطلق تقانة تصنيع أعضاء أكبر حجماً من عقائلا بينما يقود طب الأسنان إلى عصر طب تجديد.

64 أجسام نانوية <W.W>. كيس

قاسم السارة - زياد القطب



ربما تتمكن «أجسام نانوية» ضئيلة الحجم مستخرجة من الجمال من معالجة مجموعة كبيرة من الأمراض بتكلفة أقل من تكلفة المعالجة بالأضداد.

45 اسألوا أهل الخبرة

- ما دور الزمر (الفصائل) الدموية المختلفة؟
- لم يعتبر ضغط الدم السوي أقل من 80/120، ولم لا تتغير هذه القراءة تبعاً لطول الشخص؟
- كيف يمكن استرجاع الملفات الحاسوبية التي جرى حذفها؟

40 استبصارات

تعلم «ريتا شارون» [أستاذة الطب السريري] جيلاً جديداً من الأطباء كيفية الإصغاء إلى ما يسريده مرضاهم ضمن شكاويهم.

42 جولات سياحية

زيارة العالم من خلال جولة في «عالم البيوسفير 2».

70 أخبار علمية

احتراق كواكب عملاقة حتى قلوبها الصخرية.

44 إشهار حقوق مدعاة

تقدم مجموعة «التشارك الإبداعي» أسلوبي لحماية الحقوق الفكرية ولتشجيع التشارك على الإنترنت.

ترميم القلوب المحطمة^(*)

يوشك البيولوجيون والمهندسون في حقل هندسة النسيج على تحقيق واحدٍ من أكبر أهدافهم، وهو بناء رقعة حية من القلب البشري.

<S> كوهين> - <J> ليور>

كان التطلع إلى «بناء» أي نوع من النسيج الحية خارج الجسم أمراً غير مألوف قبل 15 عاماً، لكن منذ ذلك التاريخ استحضر علماء بيولوجيا الخلية وهندسة المواد أفكاراً وتقنيات غير اعتيادية من خلال مجالات تخصصهم لمواجهة هذا التحدي، وأحرزوا تقدماً كبيراً. وعلى مستوى التعاون الخاص بنا، على سبيل المثال، فإن المبادئ الهندسية أدت دوراً حاسماً في تمكيننا من تطوير سقالة scaffold شجعت الخلايا القلبية والأوعية الدموية على أن تنمو حتى في المنطقة الميتة من الاحتشاء.

وضع الأساس^(**)

إن احتشاء العضلة القلبية myocardial infarction، المعروف عند العامة بالنوبة القلبية، يحدث بسبب انسداد مفاجئ في أحد الأوعية الدموية الرئيسية (التي تغذي البطين الأيسر) بجلطة دموية، مسبباً حرمان جزء من العضلة القلبية من الدم، ومن ثم من الأكسجين، وهذا يقتل خلايا العضلة القلبية cardiomyocytes القادرة على التقلص، مخلفاً بقعة من النسيج الميت (الاحتشاء)، تعتمد مساحتها على حجم المنطقة التي كانت تتغذى بهذا الوعاء المسدود.

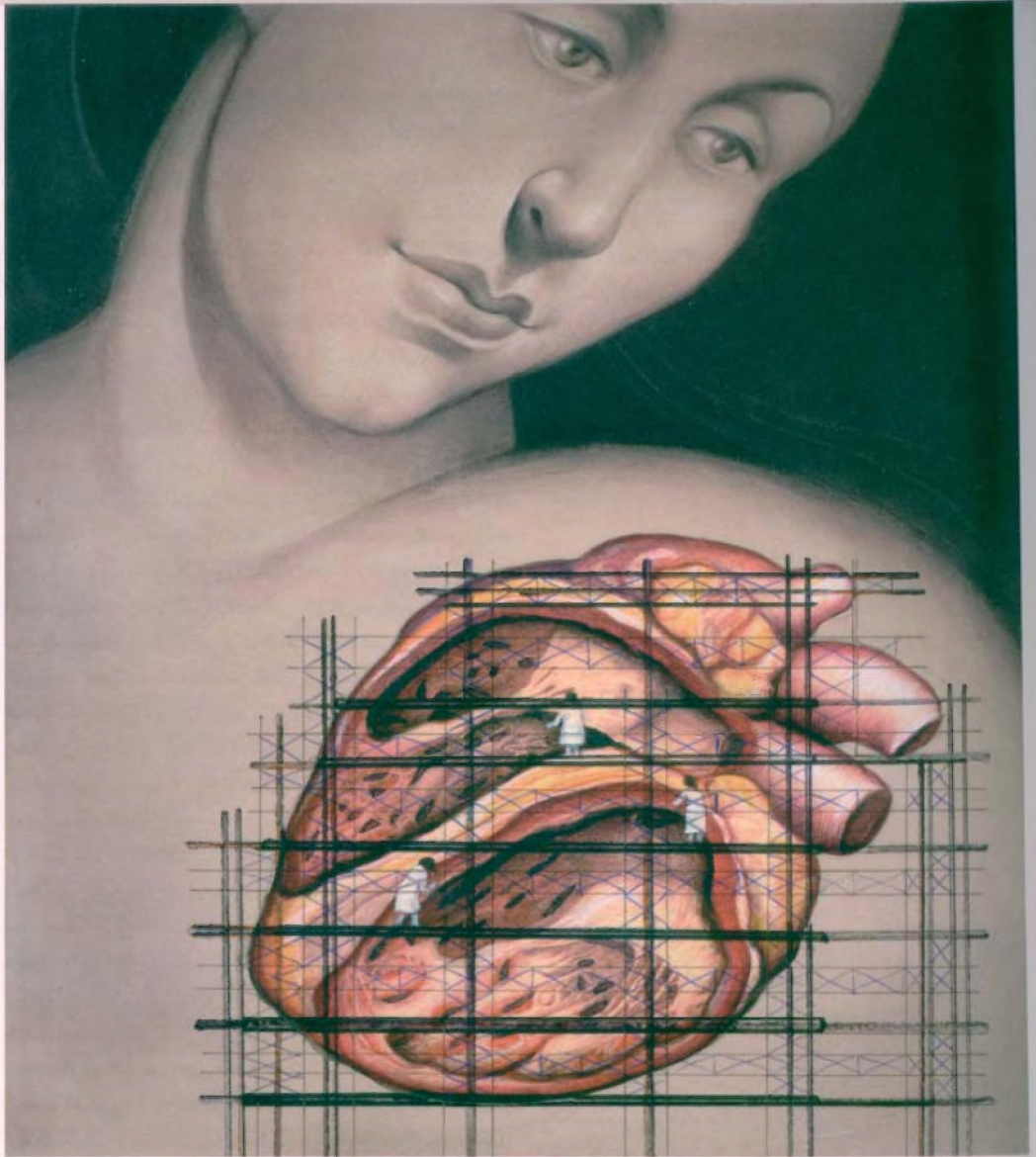
ونظراً لندرة انقسام خلايا العضلة القلبية، فإن الخلايا العضلية السليمة التي نجت من الاحتشاء لا تستطيع أن تتكاثر، ومن ثم لا يمكنها أن تعيد احتلال المنطقة الميتة. كما أن الخلايا الجذعية المحلية local stem cells، التي تعمل كطليعة لخلايا جديدة في نسيج أخرى، ثبت أنها غير قادرة على شفاء الجرح القلبي بنفسها. وعوضاً عن ذلك ينمو تدريجياً نسيج ليفي غير متقلص مكان خلايا العضلة القلبية الميتة بسبب الاحتشاء. كما قد تموت خلايا العضلة القلبية السليمة الموجودة أيضاً على حدود منطقة الاحتشاء، فتتسع تلك المنطقة، وتعرف هذه الآلية بتغيير الشكل remodeling، حيث ترق جدران البطين الأيسر في منطقة الاحتشاء وتتمدد، وقد تتمزق [انظر الشكل في الصفحة 7].

إن القلب الذي حطمه الحب يشفى عادة مع الزمن، لكن التلف الذي يصيب العضلة القلبية بسبب نوبة (هجمة) قلبية heart attack يتفاقم بشكل مطرد. وعلى عكس الكبد والجلد، فإن النسيج القلبي لا يتجدد، ولذا فإن الندبة التي تخلفها نوبة قلبية تبقى منطقة ميتة غير قادرة على التقلص noncontractile.

إن الندبة التي تعرف بالاحتشاء infarct تعوق التقلصات المتزامنة التي تبديها العضلة القلبية، وتزيد من الإجهاد الواقع على الأجزاء السليمة من العضلة القلبية، مسببة المزيد من موت الخلايا والمزيد من تشويه جدران القلب. ويمكن لدورة التدهور هذه أن تضاعف حجم الاحتشاء خلال أشهر فقط.

إن المداخلات الطبية تسمح لبعض المرضى بتجاوز النوبة القلبية، لكن ثلث عددهم على الأقل يعانون ضعفاً ثابتاً في قلوبهم المتأذية، يدعى فشل القلب heart failure، الذي لا شفاء منه حالياً إلا بزراعة قلب جديد، وهي عملية معقدة ومكلفة، ويحدها ندرة عدد المانحين (المبرعين). فعلى سبيل المثال، كان في الولايات المتحدة عام 2004 أكثر من 550 000 حالة جديدة من فشل القلب، لكن أجريت فقط 2000 عملية زراعة قلب، أما البقية الباقية من المرضى فإن نوعية حياتهم ستدهور و40% فقط منهم سيقبضون على قيد الحياة خمس سنوات بعد النوبة الأولى.

إن استطاع الأطباء إصلاح احتشاء القلب البشري أو حتى إيقاف توسعه، فسيدخلون حياة الملايين؛ لذلك أصبح إنشاء رقعة patch من نسيج قلب البشر هو واحد من أهم الأهداف الملحة لهندسة النسيج tissue engineering وأكثرها طموحاً. لا بد لاليف العضلة القلبية من أن تنتظم بصورة متوازنة، ثم تقيم روابط مادية وعصبية فيما بينها بغية نقل الإشارات الكهربائية التي تمكن هذه الاليف من أن تزامن synchronize تقلصاتهما. أما نسيج الجلد والغضروف فهي أقل تعقيداً بكثير، وزراعتها في المختبر أسهل أيضاً، فهي لا تحتاج إلى جملة وعائية داخلية internal vasculature. أما النسيج السميكة مثل العضلة القلبية فإن إيجاد طريقة لإدماج المدد الدموي المطلوب في قطعة ثلاثية الأبعاد من هذه النسيج مازال يشكل عقبة كبرى.



هذه الخلايا المزروعة لا تستطيع الحياة في المنطقة المحتشبة كونها تفقد البنية التحتية الحيوية التي تدعم الخلايا الحية بشكل طبيعي. تحوي النسيج السليمة ما يدعى المطرس (الملاط) البراني (خارج الخلايا) extracellular matrix الذي يحوي بروتينات بنبوية، مثل الكولاجين collagen وجزيئات سكرية معقدة تدعى عديدات السكريد polysaccharides، مثل كبريتات الهيباران heparan sulfate. ولهذا المطرس البراني تأثير مزدوج، فهو يولد مواد كيميائية محرضة لنمو الخلايا ويقدم كذلك الدعم الفيزيائي لها.

ومن خلال إدراك أهمية هذا المطرس البراني، دأب مهندسو

infarct zone (١)

في السنوات القليلة الماضية، حاول الباحثون إعادة إنماء نسيج قلبي في المنطقة المحتشبة^(١)، وذلك بنقل خلايا جذعية من نسيج آخر، مثل نقي العظام أو العضلات الهيكلية. وكان الأمل أن تتكيف هذه الخلايا مع محيطها الجديد وتبدأ بإنتاج خلايا عضلية قلبية ناضجة، أو على الأقل تحرض أي قدرة طبيعية للتجديد قد يمتلكها القلب. ولأسوء الحظ، كانت محاولات هذه الطريقة محدودة النجاح، حيث لم يكتب لعظم الخلايا الجذعية المنقولة فرصة البقاء، كما أن البقية التي تجمعت على حافة منطقة الاحتشاء، فشلت في تحقيق تماس مادي مع النسيج السليم، أو فشلت في نقل الإشارات الكهربائية التي تسمح للخلايا القلبية بأن تزامن تقلصاتها.

الناجمة عن تقوضها أن تسبب تفاعلا التهابيا نسيجيا موضعيا، وأن تؤثر في الوقت نفسه في بقاء الخلايا المزروعة. أما المواد الهلامية التخليقية الجديدة ذات الأساس المائي فهي بعيدة عن معظم هذه العوائق، وتشابه في بنيتها مع المطرس البراني الطبيعي. لكن مازالت هذه الهلاميات المائية hydrogel تفتقد بعض الخصائص الكيماوية الموجودة في بروتينات المطرس البراني الطبيعي، مثل الكولاجين، التي تزود الخلايا بالإعازات الوظيفية المهمة.

إضافة إلى الكولاجين، فإن بروتينات مطرسية برانية أخرى مثل الفبرونكتين fibronectin قد اختُبرت أيضا كمواد لبناء السقالة. ومع أن هذه البروتينات تحوي الحموض الأمينية التي تلتصق بها الخلايا عادة، فهي تفتقد القوة الكافية لدعم أعداد كبيرة من الخلايا، كما أن الكولاجين على الخصوص يُستنفد بسرعة بوساطة إنزيمات في الجسم. إضافة إلى ذلك، فإن البروتينات، تبعا

إن الخلايا المزروعة لا يمكنها أن تترعرع في منطقة الاحتشاء بسبب فقدان تلك المنطقة للبنية التحتية الطبيعية التي لا غنى عنها.

لمصادرها، قد تثير الرفض المناعي الذي يضيف مخاطر إضافية وصعوبات إلى حياة المرضى الذين يعانون أصلا فشل القلب.

لذلك قررنا أن نبني السقالة من نوع مختلف من البوليمرات الطبيعية، هو **الألجينات alginate**، وهي عديد سكريد⁽¹⁾ مشتق من الطحالب. إن هذه المادة متوافقة حيويًا biocompatible، بمعنى أن الجسم الحي يتقبلها من دون أن تثير جهازه المناعي. وعندما نذيب نوعا خاصا من الألجينات في الماء، وتتعرض لأيونات (شوارد) الكالسيوم ذات الشحنة الموجبة فإن جزيئاتها ترتبط فيما بينها لتشكّل هلاما مائيا؛ يشكل الماء 98% منه، ويحمل قوام الهلام ومرونة المطرس البراني الطبيعي.

لكي نستخدم الهلام المائي للألجينات كسقالة نحتاج إلى إعطائه شكلا خارجيا وبنية داخلية، وفي الوقت نفسه نعزز قوته الميكانيكية، بحيث يحافظ على شكله تحت وطأة ثقل الخلايا «المبذورة» seeded cells. وللوصول إلى هذا استنبطنا تقنية جديدة لزيادة صلابة الألجينات، استلهمت من المبادئ الهندسية.

بدأنا بسكب محلول الألجينات في تشكيلة من القوالب، ثم جمدت بثلاث طرق تبريد مختلفة، أنتجت كل طريقة منها تدرجا gradient حراري متباينا داخل المحلول أثناء التجميد. وفي جميع النماذج المتجمدة الثلاثة، اشتملت البنية الناتجة على بلورات ثلجية

النسيج على البحت عن بديل يعمل كإرضيه لتنمية النسيج الحية. إن مثل هذه المادة تستطيع أن تشكل سقالة لدعم الخلايا وتسمح لها بالنمو والانقسام وتنظيم نفسها في نسيج ثلاثي الأبعاد، كما هي الحال في الطبيعة. إن هذه البنية قد تحل مشكلة ارتحال الخلايا المزروعة بعيدا عن المنطقة المتندبة. لكن بعد أن تستقر الخلايا وتبدأ بإفراز مطرسها الخاص فعلى السقالة أن تتلاشى، ولا تخلف وراءها إلا نسيجًا سليما. ولعل الشيء الأكثر أهمية هو أن تُنشِط هذه السقالة - أو على الأقل تتيج - النمو السريع للأوعية في داخل النسيج الجديد. فالأوعية الدموية - التي تنقل الأكسجين لكل خلية وتنقل فضلاتها بعيدا - ضرورية لبقاء الخلايا المزروعة بعد نقلها إلى العائل (المضيف) الحي.

في نهاية الثمانينات من القرن الماضي، كان من دواعي سرور «كوهين» [وهي أحد مؤلفي المقالة] أن عملت مع «R. لانجر» [أحد رواد مجال هندسة النسيج] (انظر: «هندسة النسيج: التحديات المقبلة»، **العلوم**، العدد 2 (2000)، ص 65) في مختبره بمعهد ماساتشوستس للتقانة. في ذلك الوقت، كانت فكرة بناء نسيج حي ضربا من الخيال ومستبعدة من الكثيرين. فضلا عن ذلك، كان علم الخلية حكرا على علماء الأحياء، وكنا مهندسين كيميائيين. لكن تلك الحقبة زخرت بالاختراقات العلمية في كلا المجالين، حيث اكتسب علماء الحياة تبصرات جديدة حول التأثير بين الخلايا والمادة. وفي الوقت نفسه توصل المهندسون إلى القدرة على تخليق أنواع جديدة من البوليمرات (المكثورات). وفي العشرين سنة الأخيرة اختبر المهندسون تشكيلة واسعة من المواد التخليقية synthetic والطبيعية، لبناء منصة مثالية للخلايا الحية تنمو فيها وتتكاثر مكونة نسيجًا عاملا functioning tissue.

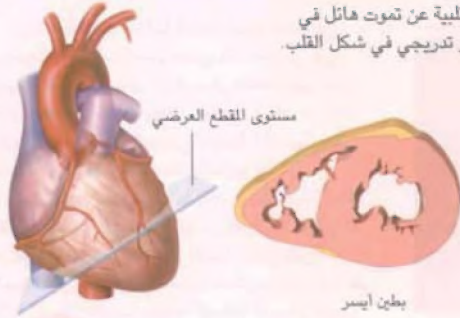
ومن بين أكثر المواد التخليقية شهرة **البوليستر polyester** القابل للتقوض (للتدرك) والذي يحتوي على **لاكتيد lactide** أو **كليكوليد glycolide** أو كليهما. وعلى الرغم من ثبوت سلامة هذه المواد داخل الجسم البشري، فثمة عوائق عديدة؛ فمعظمها كاره للماء، ولذا فإن الخلايا الحية لا تلتصق بها بشكل جيد، والسقالة المصنوعة منها تميل إلى التفتت وليس إلى التقوض المطرد، ويمكن للمواد الحامضة

نظرة إجمالية/ ترميم القلوب⁽²⁾

- إن العضلة القلبية المتندبة ستؤدي بالقلب إلى الفشل لدى ملايين الناجين من النوبة القلبية ما لم نستطع استعادة المنطقة المتخرية أو نستبدل بها نسيجًا جديدًا.
- إن بناء نسيج حي قد جمع بين معارف علماء الأحياء حول سلوك الخلية وبين البراعة الهندسية لكيميائيي المادة.
- مهندسو النسيج الذين صاروا قادرين على تجديد العضلة القلبية في الكائن الحي، يقومون الآن بتطوير معارفهم بهدف تركيب عضلة قلب فاعلة في المختبر.

فشل القلب: من الأزمة إلى المرض المزمن^(١)

قد يتجم فشل القلب الذي يعقب احتشاء العضلة القلبية عن تموت هائل في النسيج أثناء نوبة قلبية، ولكنه غالباً ما ينجم عن تغير تدريجي في شكل القلب.



قلب سليم

يضخ البطين الأيسر للقلب الدم المؤكسد حديثاً إلى بقية أنحاء الجسم. إن جدران البطين الأيسر سميكة عادة وتحوي الألياف العضلية تدعى الخلايا العضلية.

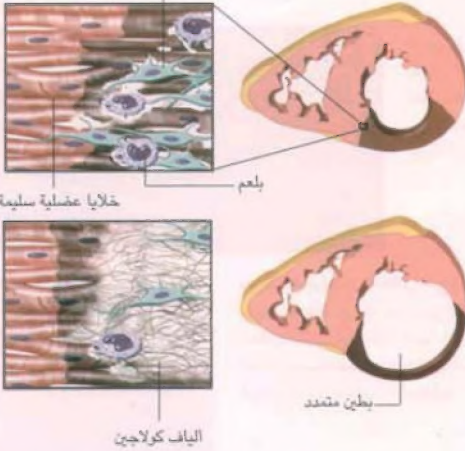


احتشاء حاد

عند انسداد أحد الأوعية الدموية المغذية للعضلة القلبية تموت الخلايا العضلية نتيجة الحرمان من الأكسجين، وتدعى المنطقة ذات النسيج العضلي الميت بالاحتشاء.

تشكل الندبة

خلال ساعات أو أيام، تبدأ الإنزيمات في منطقة الاحتشاء بتقويض المطرس (الملاط) البراني. وتقوم البلاعم الكبيرة في نفس الوقت بالتهام الخلايا العضلية الميتة وتحل مكانها أرومات ليفية fibroblasts تفرز الكولاجين، يتحول الجدار العضلي السميك إلى جدار رقيق قاس. وتستمر منطقة الاحتشاء بالتمدد نتيجة موت الخلايا العضلية على حدود المنطقة المتندبة، ويتضاعف حجم الاحتشاء خلال أشهر قليلة فقط.



تغير شكل البطين

تصبح تقلصات القلب المتدب متكلفة وصعبة، مثل مشية شخص إحدى ساقيه مثبتة في جبيرة. ولتعويض الإجهاد الإضافي قد يزداد سمك العضلة السليمة في البداية. غير أن زيادة الإجهاد تؤدي في النهاية إلى موت المزيد من الخلايا، وإلى تمدد جدار البطين وترققه. وتتفاقم تدريجياً عدم قدرة القلب على ضخ الكميات الكافية من الدم إلى الجسم.

يؤثر بشكل حاسم في قدرة الأوعية الدموية الجديدة على اختراق النسيج المتشكل بعد زراعته في العائل. وأخيراً، فإن البنية الهندسية الفريدة لهذه السقالات، التي تشبه الرغوة أو خلايا النحل، تسهم في مقاومتها الميكانيكية. فمع أن الثقوب تشكل أكثر من 95 في المئة من حجم هذه السقالات، فإنه يمكنها تحمل ضغوط خارجية كبيرة.

وهكذا يمكننا الآن القدرة على إنشاء سقالة لها الشكل والبنية المرغوبتان تماماً، ولا تُفعل الجهاز المناعي، ومصنوعة من مواد طبية باستخدام الكيمياء غير السامة، ولها متانة ميكانيكية جيدة، وتلتاشى داخل الجسم ضمن فترة زمنية معقولة. ويبقى أن نرى هل

Heart Failure: From Crisis to Chronic Illness (٥)

تفصل بينها جدران الجينية رقيقة. وعندما صعدنا بلورات الثلج إلى بخار حصلنا على سقالة تشبه الإسفنج تحوي ثقوباً دقيقة تعكس شكل البلورات. وكما كان متوقعاً، وجدنا أنه باختلاف طريقة التجميد نستطيع أن نتحكم في كثافة الثقوب وحجمها واتجاهها ودرجة اتصالها معا [انظر الإطار في الصفحة 8].

إن الاتصال بين الثقوب أمر مهم وحيوي، فهو سيمكن الخلايا الحية عند «بدارها» الأولى في السقالة من العبور بسهولة خلال ثناياها. فوجود الممرات السالكة والمتصلة يسمح بعبور المواد المغذية نحو الخلايا وخروج فضلاتها أثناء حضانتها، وهو أمر ضروري ومهم أيضاً. كما تعلمنا أن التواصل بين الثقوب

بناء يشبه الإسفنج



سقالة الجينية

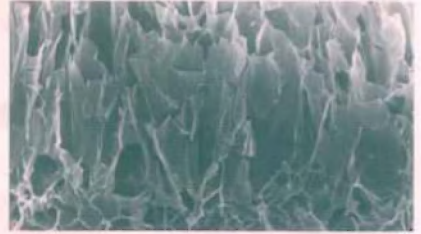


تزود السقالات الخلايا الحية بالدعم الفيزيائي وترشدتها إلى تنظيم نفسها ضمن بناء نسيجي. في الأحوال المثالية، يشتمل التركيب في معظمه على ثقوب تتصل ببعضها اتصالاً وثيقاً، أقطارها لا تقل عن 200 ميكرون (وهو الحجم الوسطي للأوعية الشعرية) حتى تسمح للأوعية الدموية بالنفاذ وللخلايا بالتأثر. تم اختيارنا للالجيئات، المشتقة من الطحالب، كمادة لسقالتنا، لشبهها الكيماوي بالمطرس البراني الطبيعي. لكن كان علينا اختراع طريقة تحول المحلول المائي للزج للالجيئات إلى سقالة صلبة، بحيث تتمكن من السيطرة على شكلها [اليسار القريب] وبنيتها الداخلية [اليسار البعيد].

ولما كنا نعلم أن الماء في الهلام المائي للالجيئات سيتحول إلى بلورات ثلجية عند التجميد، وأن شكل البلورات قد يتأثر بشكل مثير باختلاف طرق التبريد، فقد جربنا تقنية التجفيف بالتجميد لإنتاج سقالتنا. وكما كان متوقعا، أنتج تجميد الهلام المائي للالجيئات بناء يشبه الإسفنج، حيث تنفصل بلورات الثلج عن بعضها بجدران رقيقة من الالجيئات. ويتصاعد بلورات الثلج (تحولها إلى بخار) خلفت وراءها ثقوبا، تباينت أشكالها وأحجامها واتجاهاتها عاكسة اختلاف سرعة تشكل بلورات الثلج واتجاهها تبعا للحرارة المنتقلة من محلول الالجيئات إلى وسط التبريد [الأسفل].

نظم التبريد

تبريد في حمام زيتي (في درجة حرارة 35- مئوية): يتكون الثلج على نحو أسرع في قاع العينة مشكلا ثقوبا دقيقة ومتراصة بكثافة ومتصلة ببعضها، في حين تتشكل ثقوب متطاولة كبيرة فوقها متباعدة اتجاه جبهة التبريد.



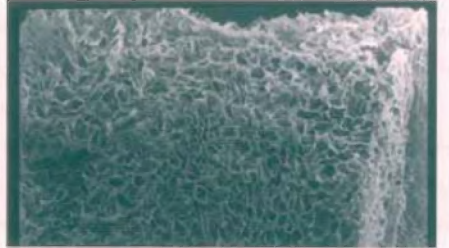
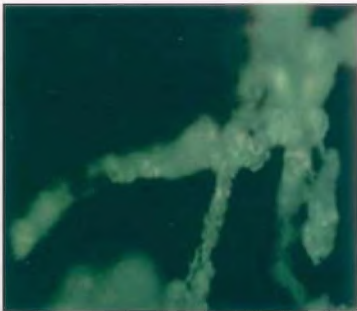
البنية الهندسية للثقوب

إن قدرتنا على التخطيط والتحكم في بناء سقالتنا - مستخدمين تقنيات التجميد هذه - مهمة جدا: لأن بنية الثقوب لها تأثير أساسي في وظيفة النسيج المتشكل. فالثقوب المتطاولة على سبيل المثال، قد تعرض على تشكيل الأوعية الدموية. فعندما استخدمنا التبريد (الأزوت) السائل لصنع سقالات تحوي أوعية طويلة، ثم زرعناها بخلايا بطانية موسومة بمادة مظلورة [اللون الأخضر في الأسفل]، فإن هذه الخلايا نظمت نفسها خلال أسبوعين في بنى تشبه الأوعية الشعرية.

تبريد بالفريزوجين السائل (في درجة حرارة 196- مئوية): يظهر تدرج مشابه لما سبق من القاع إلى القمة. تعزى الأشكال المعقدة للثقوب قرب قمة العينة إلى التبخير السريع للفريزوجين السائل مسببا جبهات باردة متعددة الاتجاهات مكان التقاء البخار البارد بمحلول الالجيئات.



تبريد في مجمد بدرجة حرارة 20- مئوية: يبرد محلول الالجيئات أولا إلى درجة 10-، ثم ينفذ فجأة إلى درجة 2-، ثم يبرد بالتدريج إلى درجة 20-، إن ظهور ذروة حادة على مخطط الحرارة يشير إلى فقدان الماء لحرارته والبدء بالتبلر في الوقت نفسه في العينة كلها، وهذا يعكس تماثل الثقوب المتصلة ببعضها.

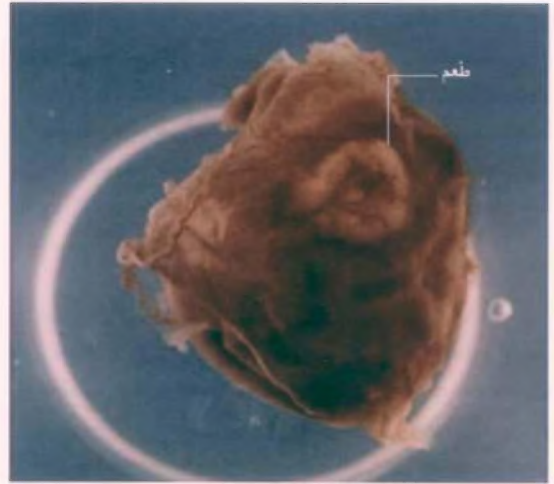


زراعة السقالات في القلوب الحية.

قمنا بإجراء عملياتنا الجراحية تحت التخدير على فئران بالغة عانت احتشاء عضلة قلب البطين الأيسر قبل سبعة أيام. كان من السهل رؤية منطقة الاحتشاء لدى جميع الفئران، حيث كنا نرى بوضوح ندبة شاحبة غير متقلصة. وضعنا سقالاتنا في هذه المناطق المحتشية مباشرة، ثم أغلقنا الشق الجراحي وانتظرنا.

بعد شهرين، كشفنا عن قلوب الفئران وذهلنا بالنمو الكبير للأوعية الدموية الجديدة الزاحفة من النسيج القلبي السليم نحو الطعوم الحيوية المزروعة [انظر الشكل في هذه الصفحة]. إن الطعوم القلبية المهندسة قد اندمجت بشكل جيد في النسيج التدبي، وبدأت السقالات الألجينية بالنويان، مع ظهور طمرس يراني طبيعي مكانها. لقد تطورت الخلايا القلبية الجنينية إلى الياف عضلية ناضجة، وانتظم بعضها في بنى متوازنة مشابهة لألياف النسيج القلبي الطبيعي. وكانت الروابط الميكانيكية والمشابك الكهربائية electrical synapses الضرورية لتقلص الخلايا القلبية ونقل التنبيه العصبي موجودة أيضا بين الألياف.

قبل الزراعة، قمنا بقياس وظيفة قلوب الفئران مستخدمين تخطيط صدى القلب echocardiography وفعلنا الشيء نفسه مع مجموعة شاهدة control group من الفئران المصابة باحتشاء، سيُجرى لها جراحة صورية لكن بدون زراعة. وبعد شهرين، قمنا بفحص قلوب جميع الفئران مرة ثانية باستخدام تخطيط صدى القلب، حيث وجدنا



سقالة مزروعة بالخلايا، نشاهد هنا بعد شهرين من زراعتها في قلب فار، وقد اندمجت في المنطقة المحتشية، حيث نفذت الأوعية الدموية المحلية إلى الطعم بوفرة وحافظت على الخلايا القلبية الناضجة داخل السقالة ومنعت الاحتشاء من التوسع.

ستجد الخلايا الحية سقالاتنا هذه بديلا مقبولا للمطرس البراني، في حالة حدوث احتشاء فعلي.

بناء النسيج^(٩)

قبل أن نزرع سقالاتنا في حيوانات التجربة، أردنا أن نرى كيف تستجيب خلايا القلب للالجنينات في الزجاج، أي خارج الجسم. لذا أخذنا خلايا من قلوب أجنة الفئران - وهي على عكس خلايا العضلة القلبية الناضجة تبقى لديها القدرة على الانقسام - وعلقت في وسط سائل يحوي مواد مغذية. بعدها سُرِبَ المعلق إلى داخل سقالة مدورة قطرها 6 مليمترا وارتفاعها مليمترا واحد. وبمساعدة قوة نابذة centrifugal بسيطة، نفذت الخلايا بسرعة من خلال ثقوب السقالة، منتشرة بانتظام في أقل من نصف ساعة.

إن للسرعة أهمية كبيرة في الحفاظ على حياة الخلايا، لأنها حساسة جدا لنقص الأكسجين: كما أن الانتشار المتجانس يمكننا من تحميل السقالة أعدادا كبيرة من الخلايا. وكانت النتيجة أن كثافة الخلايا في سقالاتنا بلغت 10^6 خلية في السنتيمتر المكعب الواحد، وهي مشابهة لكثافة خلايا العضلة القلبية الطبيعية الناضجة.

نقلنا سقالاتنا بما فيها من خلايا مزروعة إلى حاضنة خاصة دعيت المفاعل الحيوي bioreactor يوفر رطوبة وظروفا بيئية مثالية، في الوقت الذي كنا نروي داخل السقالات وما حولها وبشكل متواصل بوسط يحوي مواد مغذية. كنا نراقب استقلاب (أيض) الخلايا عن قرب، وبعد 48 ساعة فقط اكتشفنا خلايا عضلية قلبية نابضة. وبعد سبعة أيام، حان وقت اتخاذ الخطوة التالية، وهي

لقد أنجزنا الهدف الأول - حمينا قلباً عانى الاحتشاء ومنعنا المزيد من التدهور.

في المجموعة الشاهدة السيناريو النموذجي لتدهور الوظيفة القلبية، من توسع ملحوظ في البطين الأيسر ونقص واضح في وظيفة القلب. وعلى النقيض من ذلك كانت المجموعة التي أجريت لها الزراعة، حيث كانت النتائج قريبة مما هي عليه يُعيد الاحتشاء مباشرة، فحجم البطين الأيسر وثخانة جدرانه وكذلك وظيفته، جميعها لم تتبدل.

لقد وصلنا إلى هدف بدني لهذا البحث وهو حماية قلب عانى الاحتشاء ومنع مزيد من التدهور الذي يمكن أن يقود إلى فشل هذا القلب. لكن تبقى أسئلة كثيرة من غير إجابة. فالآلية التي بواسطتها حمت هذه المعالجة العضلة القلبية مازالت غامضة، كون النسيج الطعم لم يشارك بعد في التقلصات القلبية. ويبدو أن الطعم قد ساعد على منع التغير المعتاد في شكل البطين، من خلال منع الاحتشاء من التوسع وتسميك جدران القلب اصطناعيا في المنطقة المحتشية.

كما نعتقد أن نمو أوعية جديدة في منطقة الاحتشاء قد أسهم

Building a Tissue (٩)

الرفض المناعي، قد نستخدم الخلايا الجذعية للمريض نفسه والمستخلصة من نقي العظم أو العضلات أو النسيج الشحمي، أو خلايا جذعية مضغية يمكن استنباطها من خلايا المريض بطريقة الاستنساخ العلاجي therapeutic cloning، وقد نستطيع مستقبلًا عزل خلايا جذعية قلبية محلية.

طرق ترميم القلوب^(١)

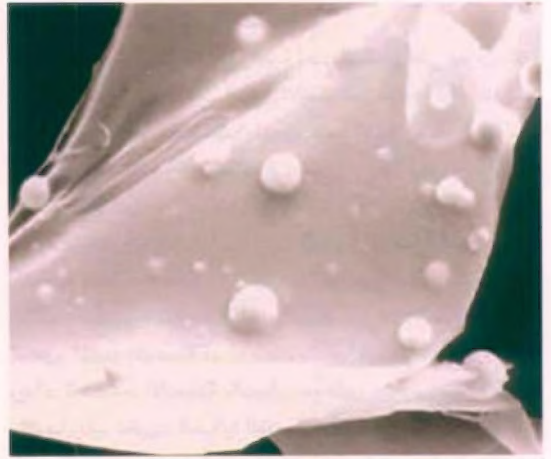
لقد كان التقدم الذي أحرزناه مشجعاً، وأدى إلى اقتراح عدة طرق ممكنة لاستخدام سقالاتنا الأليجية بغية حماية وتجديد القلوب المتأذية باحتشاء العضلة القلبية. وخلال ثلاث سنوات، على سبيل المثال، نعتقد أننا سنكون مستعدين، بالتأكيد، لاختبار استخدام السقالات الأليجية غير المبذورة unseeded alginate scaffolds عند البشر المصابين باحتشاء العضلة القلبية، حيث أكدت تجاربنا الأخيرة على الخزائير ما سبق أن لاحظناه في الفئران، من أن السقالات الأليجية وحدها (بدون الخلايا) منعت الاحتشاء الحديث من التوسع وجدار البطين من تغير شكله. ونتيجة لذلك قد تستطيع السقالات غير المبذورة وحدها أن تقي بشكل فاعل من نشوء فشل قلبي عند مريض لم تصب قلوبهم بتغير مهم في الشكل بعد.

إن القدرة الواضحة للاليجينات على رعاية تشكيل أوعية جديدة تشير أيضاً إلى إمكانية زيادة فرص البقاء للخلايا المزروعة، حيث تُزرع السقالة أولاً في المنطقة المحتشية، ومنتظر حتى تتكون الأوعية الدموية، ثم بعدها نزرع الخلايا في السقالة. لقد جربنا ذلك لتشكيل نسيج في كائن حي (الفئران)، وكانت النتائج واعدة. وقد حُفِّزَت تكون الأوعية بصورة كبيرة عندما أدمجت في السقالات كريات مجهرية تُحرَّرَ بشكل مسيطر عليه عوامل نمو [انظر الشكل في هذه الصفحة]. لكننا لسوء الحظ لاحظنا أن إنشاء الأوعية المسبق prevascularization في السقالات ينقص الحيز المتوفر للخلايا المزروعة. لذا نعمل الآن على تحسين قدرتنا على موازنة التشكل الوعائي باستخدام أنماط مختلفة من عوامل النمو.

في الوقت الحاضر، مازالت الطرق المستخدمة لبناء النسيج في الزجاج تتيح سيطرة أكبر على شكل النسيج وتركيبه ووظيفته. يضاف إلى ذلك، حاجتنا إلى استبدال قطعة متكاملة من القلب في حال تمزق الاحتشاء، حيث نحتاج إلى رقعة حقيقية من النسيج تملأ الفجوة المشكلة، علماً بأن زراعة سقالة مثقبة وفارغة في هذه الحالة لن تجدي نفعاً. لذلك مازلتنا نواجه عقبة الحفاظ على النسيج المزروع حياً ريثما يصبح تشكل الأوعية كافياً. ومن خبرتنا المكتسبة، فإننا نبحت الآن إمكانية إيجاد طعم سبق إحداث جملة وعائية فيه.

لقد تمكنا من إنشاء مهاد من الأوعية الشعرية capillary bed من

Roads to Rebuilding Hearts (+)



كريات مجهرية يمكن دمجها في السقالة من خلال مزجها بالمحلول الأليجي قبل عملية التجفيف بالتجميد. هذه الكريات المجهرية التي لا يزيد قطرها على ثلاثة ميكرونات تُسرِّع تشكل الأوعية الدموية من خلال تحريرها عوامل النمو من دون أن تسبب أية إعاقة.

بشكل كبير في إبطاء التدهور النسيجي. لقد كانت الأوعية الدموية الجديدة كثيرة في عددها وكبيرة في حجمها عندما كانت السقالات مسكونة بالخلايا المزروعة. لكن إحدى المفاجآت في هذه التجارب تمثلت في تشجيع السقالات غير المزروعة بالخلايا أيضاً على تشكيل أوعية دموية جديدة في منطقة الاحتشاء.

من الممكن أن تكون السقالات الأليجية قد شجعت على نمو أوعية جديدة عن طريق تأمين الدعم لهذه الأوعية أثناء اختراقها للمنطقة المتأذية. كما أننا نتوقع أن مادة الاليجينات نفسها قد تسهم في استئثار الخلايا الجذعية كي تساعد على التجديد، لأن التركيب الكيماوي للاليجينات يماثل تركيب كبريتات الهيباران heparan sulfate، وهذا الأخير عديد سكري مهم موجود في المطرس البراني الطبيعي. واختبار هذه الفكرة قمنا مؤخراً بمحاولة حقن الهلام المائي للاليجينات مباشرة في منطقة الاحتشاء عند الفئران، فتبين أن هذه الاليجينات، حتى في شكلها المائي، قد حافظت على بنية البطين ووظيفته. ويبدو أنها عملت كبديل للمطرس البراني، حيث حرِّضت على تشكيل أوعية جديدة angiogenesis.

وبالطبع، فإننا وبقية الباحثين في هذا الحقل نعمل أيضاً على تحديد مصادر محتملة للخلايا القلبية من أجل استخدامها في الزراعة عند البشر. وكون الخلايا القلبية الناضجة للمريض نفسه لا تنقسم يضعها خارج الخيارات المطروحة. إن مصادر الخلايا المتبرع بها والتي يمكن تحويلها إلى خلايا عضلية قلبية ناضجة تتضمن الخلايا الجذعية الجنينية، والخلايا الجذعية «البالغة» adult المستخلصة من نقي العظام أو دم الحبل السري. ويبقى أن الجهاز المناعي يتعرف جميع الخلايا المتبرع بها على أنها غريبة، وهذا يضطرنا إلى استخدام الأدوية المثبطة للمناعة، ولتجنب مشكلة

مقاربات لترقيع العضلة القلبية

يعكف مهندسون النسيج حالياً على تقصي عدة طرائق تربطها علاقات متبادلة تستهدف ترقيع العضلة القلبية لدى البشر. ولكن من هذه التقنيات ميزات معينة، ولكن التبعات التي تكتسب من كل مقارنة تجريبية تساعد على تقدم المجال بمرحة.

المساوي

المزايا

العقبة

■ قلة من الخلايا يكتب لها البقاء
■ الخلايا لا تنتج خلايا عضلية جديدة
فعالة وظيفياً.

■ سهولة الإيصال.
■ الخلايا المحقونة قد تخرس تشكل
المطرس البراني والأوعية الدموية.

حقن الخلايا
يتم إيصال الخلايا البديعة أو الطبيعية إلى
منطقة الاحتشاء، بواسطة القطرة أو الحقن
المباشر.



■ تفقر الصفائح إلى جملة وعائية، ولذا
فإن ما نحصل عليه هو طبقة رقيقة
وبصيرة من النسيج
عضلة جداً.

■ النمو في المختبر سهل نسبياً
■ أكثر ثباتاً من طريقة حقن خلايا منفردة

النسيج المزروع
تُبنى خلايا العضلة القلبية على شكل صفائح
رقيقة، ثم تنظم في طبقات لتشكل رقعة تزرع
جراحياً.



■ الفترة الزمنية التي تنقضي بين زرع
الخلايا وبين تشكل الأوعية الدموية في
النسيج تسبب موت الخلايا

■ يدعم هذا التركيب نغصي (تنظيم) الخلايا
cell organization ويحرض على تشكل الأوعية.
■ قد تخرس مواد معينة على تشكل الأوعية.

السقالات المثقبة
تبنى الخلايا في سقالة ثلاثية الأبعاد مصنوعة من
بوليمرات تخليقية أو طبيعية، ثم توضع في المفاعل
الحيو، ثم تزرع جراحياً.



■ «اتزال الأبحاث في مراحليها الأولى
وبمازالتنا نحتاج إلى إثبات جدواها في
الكانن الحي

■ تمكنت من توسيع نماذج متعددة من
الخلايا بشكل دقيق
■ للخلايا حرية الحركة والتغذي

الطباعة الخلوية الثلاثية الأبعاد
يقوم جهاز يشبه نافذة الحبر بترسيب طبقات من
الخلايا تعلق في الهلام المائي بالشكل المرغوب، ثم
يضمن التركيب، ثم يزرع جراحياً.



■ التحكم في تشكل النسيج محدود.

■ سهولة الإيصال.
■ تعزيز الترميم من خلال التزويد ببديل
مؤقت للمطرس (للأسلاط) البراني

سقالات قابلة للحقن
حقن الهلام المائي للبوليمر، سواء وحده أو بنا
بحويه من خلايا معلقة، في منطقة الاحتشاء،
بوساطة القطرة أو الحقن المباشر.



المؤلفان

Smadar Cohen - Jonathan Leor

تعاوناً « سنوات بقية اصطناع رقعة عضلية لقلب كوهين أستاذة في قسم
التقنيات الحيوية بجامعة بن كوروين، تدرس كيف تتأثر الخلايا بالمنبهات
الخارجية، وقد قامت أيضاً بتصميم وتخليق بوليمرات من مواد حيوية تستخدم
في هندسة النسيج وفي إيصال الأدوية على نحو يمكن التحكم فيه. أما ليور
فطبيب قلب في مركز شيبا الطبي، وهو مدير معهد الأبحاث الطبية التابع لجامعة
تل أبيب. لقد دفعه اهتمامه بيفساعات احتشاء العضلة القلبية النادر إلى البحث
عن إمكان تجديد العضلة القلبية من خلال زراعة الخلايا وهندسة النسيج
والمعالجة الجينية.

مراجع للاستزادة

Tailoring the Pore Architecture in 3-D Alginate Scaffolds by
Controlling the Freezing Regime during Fabrication. Sharon Zmora,
Rachel Glicks and Smadar Cohen in *Biomaterials*, Vol. 23, pages 4087-
4094; October 2002.

Tissue Engineering: Current State and Perspectives. Erin Lavik and
Robert Langer in *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 65,
No. 1, pages 1-8; July 2004.

Myocardial Tissue Engineering: Creating a Muscle Patch for a
Wounded Heart. Jonathan Leor and Smadar Cohen in *Annals of the New
York Academy of Sciences*, Vol. 1015, pages 312-319; May 2004.

Scientific American, November 2004

خلال زرع خلايا بطانية endothelial cells (تلك التي تبطن جدران
الأوعية الدموية الشعرية بشكل طبيعي) في سقالة الجينية، ثم حضن
هذا التركيب في مفاعل حيوي. والخطوة التالية هي زرع الخلايا
الطانية وخلايا العضلة القلبية معاً في السقالة محاولين تشكيل أوعية
شعرية داخل قطعة من النسيج العضلي القلبي. فإذا نجحنا يبقى
علينا أن نراقب هل سيصبح هذا المهاد الشعري فعالاً وظيفياً بعد
الزراعة، وإن حدث ذلك هل سيتم بالسرعة الكافية. فإذا اتصل
بالجملة الوعائية المحلية بسرعة فإن فرص النسيج المزروع في البقاء
ستكون ممتازة.

إن العديد من الباحثين الآخرين يعمل على تخطي تلك العقبة من
خلال استنباط نسيج جرى تكوين الأوعية فيه مقدماً، وذلك
باستخدام تشكيلة من الاستراتيجيات المختلفة. ومع إقرارنا بأننا
لسنا الوحيدين الذين يحاولون هندسة نسيج قلبي، فإن أي طريقة
ستثبت جدارتها سوف تطور هذا الحقل وتزيد من معارفه. قد
نحتاج إلى 15 سنة أخرى للوصول إلى بناء «قطعة حية لقلب بشري»
لكن هذا الحلم لم يعد أمراً مستغرباً قط.

Approaches to Patching Heart Muscle (١٠)

تقليص حجم الدارات بالماء

يعتمد مصنّعو أشباه الموصلات إلى تغطيس منتجاتهم في سائل من أجل الحصول على شبيات أسرع وأصغر وأرخص.

﴿ ستيفن ﴾

اندق تفاصيل الدارة على الرقاقة. لكن عوائق عديدة واجهت مصنّعي معدات الطباعة الضوئية أثناء صنع آلة تُصنّر موجات طولها 157 نانومتراً، فالانتقال من جيل طباعة ضوئية إلى آخر، يتطلب اعتماد نماذج جديدة من الليزرز والأقنعة (وهي صفائح كيميائية ذات سمات تمثل الدارة ويمر ضوء الليزر من خلالها) والعديدات التي تُصنّر حجم الصورة وتقلّ التعرض للضوء، إضافة إلى الأفلام الحساسة للضوء photoresists. وفي حالة الموجات التي يساوي طولها 157 نانومتراً، لم تستطع شركات تصنيع التجهيزات أن تجد حلاً لكيفية تشكيل عدسات من مادة فلوريد الكالسيوم تكون عيوبها وتشوّهاتها الزخيفية قليلة بقدر يكفي لتشكيل صورة واضحة على الرقاقة. يقول «A.G. كومب» [المدير المسؤول عن تطوير الطباعة الضوئية المتقدمة لدى الشركة IBM Microelectronics]: «كانت ثمة مشكلة كبيرة جداً في جودة المواد وبخصائص التصنيع».

لكن صيف عام 2002 شهد تقدماً أثناء ورشة العمل التي رعاها اتحاد أبحاث أشباه الموصلات Sematech حول الطباعة الضوئية بموجات يساوي طولها 157 نانومتراً. فقد كان من المقرر في برنامج هذا الاجتماع أن يقوم «B. لين» [أحد المديرين التنفيذيين في شركة التصنيع التايوانية لأشباه الموصلات، وهي أكبر متعهد لتصنيع الشبيات في العالم] بإلقاء كلمة عن الطباعة الضوئية بالتغطيس immersion lithography مستوحاة من أفكار «أميتشي». وكان من المفترض أيضاً أن يقدم «لين» [الذي عمل باحثاً في مجال التغطيس أثناء وجوده في الشركة IBM في ثمانينات القرن العشرين] وصفاً لكيفية استخدام التغطيس، عند الموجات التي طولها 157 نانومتراً، باستعمال زيت لزج من زيوت ترليق الآلات. لكنه، بدلاً من ذلك، كرّس محاضراته لوصف أسباب فشل الطباعة عند هذه الأبعاد، ولبوصف الأسباب التي تقترض على الصناعة أن تركز على تطبيق التغطيس على جيل سابق من معدات الطباعة الضوئية المستخدمة فعلاً عند موجات يساوي طولها 193 نانومتراً.

يستطيع مصنّعو الشبيات، بتركيز اهتمامهم على التغطيس عند

كان عالم الفيزياء «B.G. أميتشي» يضع على العيّنات التي يتفحصها داخل مختبره بمدينة فلورنسا قطرة من سائل كي يحسن جودة الصورة التي يشاهدها من خلال عينيّه مجهره. واليوم، وبعد 165 عاماً، تحاول صناعة أشباه الموصلات في شتى أنحاء العالم اعتماد تقنية «أميتشي» المبتكرة.

سوف يتيح القرار بتغطيس الشبيات في طبقة رقيقة من السائل تصنيع دارات بحجم عرض الفيروس. إن اعتماد مثل هذا الحل المستوحى من الماضي - حيث يلتقي القرن التاسع عشر القرن الحادي والعشرين - يعد أيضاً إحياءاً للذكرى الأربعين لصنوبر أكثر مقالة علمية تأثيراً في صناعة أشباه الموصلات، وهي الأطروحة التي وضعها «E.G. مور» [أحد مؤسسي الشركة إنتل] بعنوان «حشر المزيد من المكونات في الدارات المتكاملة» [وتحول تنبؤ «مور» بأن عدد الترانزستورات في الشبيبة الواحدة سوف يتضاعف كل 12 شهراً (عدل هذا الرقم فيما بعد إلى 24 شهراً)، من مجرد تنبؤ بسيط إلى قانون صارم يكافئ قانوناً طبيعياً يقضي بأن الصناعة سوف تعاني أضراراً غير محدودة، لكنها جسيمة دون ريب، إذا توقفت قدرة الشبيات عن النمو ببقرات أسية كل عامين].

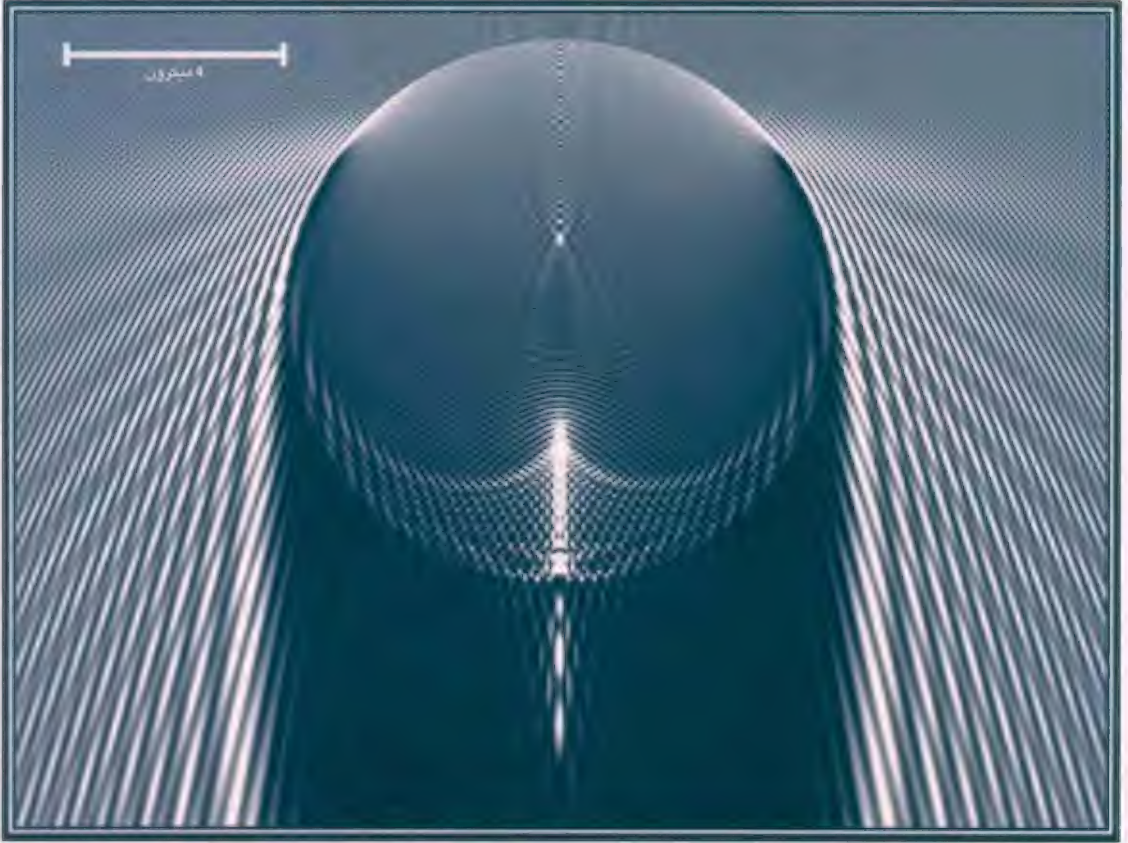
ولولا قدرة الماء، لنقّص قانون «مور» حينما اصطدمت الخطط الهادفة إلى تصنيع جيل جديد من الشبيات بما بدأ وكأنه عائق يصعب تخطيه. ففي عام 2002، أخفق كل من مصنّعي الشبيات ومزوديههم بالمواد الأولية في بلوغ معالم التحول الحاسمة في تطوير أكثر آلات التصوير تعقيداً في العالم، وهي آلات الطباعة الضوئية "lithography" التي تُسقط صورة الدارة على طبقة كيميائية «حساسة للضوء» تغطي الرقاقة السيليكونية، أي القرص الذي يُقطع فيما بعد إلى عدد من الشبيات الفردية. في هذه الطريقة، تقوم مادة تطهير كيميائية بإزالة الرقعة المعرضة للضوء، ثم تعمل مادة حفر كيميائية على نقل شكل الدارة إلى الرقاقة.

إن أكثر طريقة شبيوعاً لتصغير الدارات هي تخفيض طول موجة الضوء بواسطة آلة تلاحق بإطراد



صورة لا يمكن محوها لفقاعة مجهرية طبعت على رقاقة أثناء الطباعة الضوئية بالتغطيس، تُعرض سلالة الدارات الكهربائية للخطر.

SHRINKING CIRCUITS WITH WATER (٢٤)
"Cramping More Components onto Integrated Circuits" (٢٥)
(٢٦) ترجمنا سابقاً الكلمة lithography بـ الطباعة الحجرية، وهذه ترجمة حرفية غدت حالياً غير مناسبة؛ لأن الطباعة، لاسيما في صناعة أشباه الموصلات، صارت تستخدم ترسيب الأحيار عبر أفلام حساسة يجري إعدادها بالتصوير الضوئي، لذا ترجمناها بـ الطباعة الضوئية.
Water (٢٧) (التحرير)



فقاعة مجهرية بخيلة تظهر هنا بالمحاكاة الحاسوبية، وهي قادرة على تنبؤ الضوء المسلط على سطح رقيقة شبه موصلة، ومن ثم التأثير في وضوح الصورة المسقط على فيلم حساس للضوء. وقد عالج الباحثون هذه المشكلة جزئياً - بإزالة الغاز من الماء.

لم يكن أي شخص متيقناً من إمكان نجاح هذه التقنية، فالأمر الذي ينشلق بقوة حول الرقاقة قد يتسبب في حدوث فوضى عارمة عليها، لأن الفقاعات المجهرية التي تتشكل أثناء تحرك الرقاقة بسرعة نصف متر في الثانية تحت الآلة يمكن أن تولد عيوباً في الصورة.

وفي الشهر 2002/12 نظم الاتحاد Sematech حلقة نقاش شارك فيها مئة شخص من مصنعي المعدات والشبكات والباحثين العلميين لإعداد لائحة طويلة بالمسائل المعلقة التي تعترض الطباعة الضوئية بالتغليس. وحددت المجموعة 10 عقبات أساسية يجب تذليلها لجعل هذه التقنية حقيقة. وامتد مجال تلك العقبات من نمذجة آثار الماء التي قد تؤدي العدسة أو الفيلم الحساس للضوء، إلى فهم الماهية الحقيقية لخصائص الماء الفيزيائية. فقرينة انكسار الماء، أي نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في وسط كالماء (وهي أصلاً معيار لقدرة الماء أو أي وسط آخر على كسر الضوء، وعامل حاسم في تحديد الفتحات العددية)، لم تكن معروفة إلا بمنزلة عشرينيتين

(1) numerical aperture وهي مقدار يتعلق بزاوية رأس المخروط الذي تمثل العدسة قاعدته ويمثل محورهما رأسه، وقرينة الانكسار لوسط الانتشار بينهما وبين محورهما. وتوصف بالعددية لأنها مجردة من الوحدات. (التحرير)

موجات يساوي طولها 193 نانومتراً. تحسين ميز resolution معدات الطباعة الضوئية التجريبية والموثوقة حتى يضاهي الميز الذي يفترض أن تحققه المعدات التي تستخدم موجات طولها 157 نانومتراً. يقول «لين»: «لقد استرعى ذلك انتباه جميع الحضور». ويضيف: «وقد غفروا لي طبعاً ما قلته من أن الموجات التي طولها 157 نانومتراً ليست جيدة». فالأمر، الشفاف للموجات التي طولها 193 نانومتراً، وغير الشفاف للموجات التي طولها 157 نانومتراً، يستطيع تحسين الميز لأنه يسمح بصنع آلة للطباعة الضوئية ذات فتحة عددية أكبر، وهذا يمثل عاملاً أساسياً في قدرتها على تمييز التفاصيل الدقيقة. ولأمر يحسن البعد المحوري (عمق البؤرة) أيضاً، أي المسافة التي تفصل بين آلة التصوير والصورة، والتي تضمن بقاء الصورة المسقطة على الفيلم الحساس للضوء واضحة بقدر مقبول. إن عمق البؤرة يمثل عاملاً ذا أهمية خاصة في صناعة الشبكات المتطورة، لأن أقل عدم تجانس على سطح الرقاقة يمكن أن يفسد الصورة.

لقد مثلت محاضرة «لين» نوعاً من التحدي، فالطباعة الضوئية بالتغليس عند موجات طولها 193 نانومتراً يمكن أن تكون امتداداً لتقانة راهنة. ولذلك فإن الانتقال من طول موجي إلى آخر في عملية التصوير ربما لا يحتاج إلى الفترة التي تلزم عادة لأعمال التطوير والتي تقدر عادة بعقد أو أكثر من السنين. لكن، ومع أن الأبحاث المتفرقة المتعلقة بالتغليس تعود إلى ثمانينات القرن العشرين، فإنه



تعمل الطباعة الضوئية بالتغليس بتصوير الماء عبر الفرجة الموجودة بين آلة التصوير والفيلم الحساس للضوء الذي يغطي الرقاقة شبه الموصلة، وهذا يُحسن ميز أبعاد الشبيبة والبعد المحرقى. وعندما تتحرك الرقاقة على المنصة تحت العدسة، يُسقط (يشطط) الماء من المنطقة التي جرى تصويرها.

الأكاديمية حذو الشركة IBM بإطلاق منتجات جديدة وعروض طباعة ضوئية. ومن المرجح أن تصل الطباعة الضوئية بالتغليس إلى مستوى الإنتاج التجاري في عام 2009، وحينئذ سوف تنخفض المسافة الفاصلة بين الترانزستورات انخفاضاً مذهلاً لتقترب من 45 نانومتراً، وهذا أقل من عرض فيروس التهاب الكبد من النمط C. لقد سمحت إضافة الماء بواحدة من أسرع عمليات وضع تقانة طباعة ضوئية جديدة في الاستخدام على الإطلاق، وربما تكون قد أنقذت الصناعة من الخروج عن تبعيتها لقانون «مور». قد يكون إطلاق جيل جديد من الشبيبات، باستخدام هذه التقانة تأخر سنتين، ربما بانتظار قدوم الهاتف الخليوي القلاب القيدوي العالي الوضوح الذي طال انتظاره. من ناحية أخرى، حكم التغليس على الطباعة الضوئية بموجات طولها 157 نانومتراً، بمصير قائم بعد أن أنفقت الصناعة ما يُقدر بأكثر من بليون دولار أمريكي على هذه التقانة التي باتت عديمة النفع يقول M. Pli وير: [الباحث الرئيسي لدى الشركة Canon، وهي أحد أكبر ثلاثة مصنعين للطباعة الضوئية إلى جانب الشركتين Nikon و ASML]: «لقد ماتت شر ميتة».

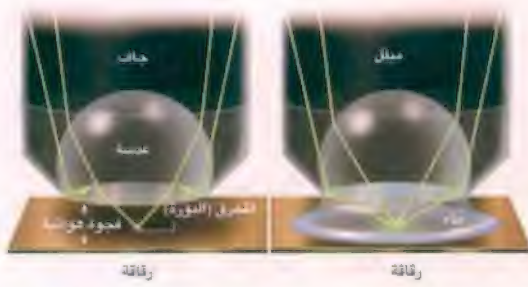
ويضع الباحثون التغليس نصب أعينهم أيضاً لتطبيقه على جيل شبيبات عام 2011 الذي تصبح فيه المسافات الفاصلة بين الترانزستورات 32 نانومتراً. سوف يتطلب تحقيق هذا الهدف عدسات وكيمائيات جديدة تُضاف إلى الماء - سيميّها بعض الخبراء "Kool-Aid" - تزيد قريته انكساره، ومن ثم، تقسح المجال للحصول على فتحات عديدة أكبر. ففي اجتماع مخصص للهندسة البصرية عُقد في الشهر 2005/3، قدّم W. H. سميث وزملاؤه [من معهد روثستر للتقانة]⁽¹⁾ تقريراً عن طباعة ضوئية «بالتغليس»

فقط عند الموجات التي طولها 193 نانومتراً. يقول J. W. تريابولا [الباحث الرئيسي لدى الاتحاد Sematech الذي ترأس الاجتماعات الأولى]: «إن الصنيع متفقون على ضرورة معرفة قيمتها بخمس منازل عشرية، أو ربما بست منازل».

وكان سلوك الفقائيع مجهولاً آخر، لذا كلف فريق عمل متفرغ بمعالجته. وذهب مختبر لنكون [التابع لمعهد ماساتشوستس للتقانة MIT، وهو أحد مراكز الأبحاث الرئيسية في الطباعة الضوئية المتقدمة] إلى حدّ تجميد الفقائيع النانوية الحجم بالتبريد بغية دراستها. والفقائيع المجهرية ذات الحجم الأكبر يمكن أن تسبب الضرر أيضاً. يقول M. سويتسكي [أحد الباحثين في مختبر لنكون]: «كنا ندرس الكيفية التي تجعل الماء ينساب دون فقائيع عندما تتحرك الرقاقة بسرعة تحت آلة التصوير». وقد تبين أن الماء النقي المنزوع الغاز ساعد على تحقيق المواصفات التقنية التي تمنع تكون الفقائيع. وفي الشهر 2003/7، استقطبت ورشة عمل أخرى نظماً الاتحاد Sematech عن الطباعة الضوئية بالتغليس جسداً كبيراً في المركز IBM Almaden Research Center. فقد قدّمت عمليات محاكاة وتجارب دامت ستة أشهر حلولاً ممكنة للصعوبات التقنية العشر برمتها. يقول A. كرنزويل [مدير برنامج استراتيجية الطباعة الضوئية بالتغليس لدى الاتحاد Sematech]: «لقد تبين لنا أن جميع الأمور التي حسبنا أنها تمثل مسائل مستعصية يمكن أن تكون تحت السيطرة». وتسارعت وتيرة التطوير بخطى حثيئة. ففي الشهر 2003/12، عرضت الشركة ASML [وهي شركة تصنيع معدات طباعة ضوئية] نموذجاً أولياً لآلة تغليس، وبحلول نهاية عام 2004، أنتجت الشركة IBM دفعة تجريبية من المعالجات الصغرى التي بلغ طول أصغر بُعد من أبعادها 90 نانومتراً. إن استخدام التغليس، إلى جانب سلسلة مما يسميه أرباب الطباعة الضوئية «الحيل» (من قبيل تغيير طور الضوء)، يتيح طباعة أبعاد لا تتعدى جزءاً صغيراً من طول موجة الليزر الفعلية والبالغ 193 نانومتراً. ويعلق «كومبا» [من الشركة IBM] قائلاً: «لقد قلنا أساساً إننا قادرون على ذلك». وهذا بعدد عدد آخر من مصنعي المعدات والشبيبات وبعض الهيئات

(1) شراب ذو نكهة صناعية

Rochester Institute of Technology (r)



بتحسين ميز الطباعة الضوئية المستخدمة في صنع الشببات إذا وضعت أداة فيها ماء في الفجوة الواقعة بين العدسة والرقاقة. إن الضوء الذي ينتقل عبر العدسة بزواوية حادة جداً، أي الأشعة التي تعطي صورة لأصغر أبعاد الدارة، ينعكس مرثداً كلما صادف فجوة هوائية (في اليسار). في تلك الأثناء، تنكسر موجة الضوء التي تصطدم بالماء بالزاوية نفسها، بحيث تصل إلى نقطة المحرق (البؤرة) في اليمين. وتحسن الطباعة الضوئية بالتغطيس البعد المحرق أيضاً، أي المسافة بين العدسة والصورة التي تحافظ على وضوح الصورة.

حجوم عناصر الدارات من حجوم الذرات الفردية، إضافة إلى فقدان مصممي الشببات تدريجياً سيطرتهم على الإلكترونيات أثناء مرورها عبر الترانزستور. فكثيراً ما يحدث أن تكون حلول المشكلات الهندسية الكبرى هي أكثر الحلول بساطة، إذ إن مجرد إضافة الماء تسمح للذرات الأرغون والفلوريد بطباعة أبعاد لا تتعدى ربع طول الموجة التي تساوي 193 نانومتراً. وثمة نوع جديد من الطباعة الضوئية دون تغطيس، يسمى الطباعة النانوية (nanom imprint)، ويشبه إلى حد بعيد عملية تشكيل الهلام في قالب، وهو حل ممكن للطباعة الضوئية بموجة طولها 25 نانومتراً أو أقل.

يقول «J. J. بيرنت» [وهو باحث في المعهد الوطني الأمريكي للمقاييس والتقانة]، درس الخصائص البصرية للسوائل والعدسات المستخدمة في الطباعة الضوئية بالتغطيس: «لقد انتهى بنا الأمر إلى العودة بلغة تعقيد». وقد ينتهي الأمر بـ«أوكام» وشفرة حلاقته» إلى تسهيل عمل «مور» وقانونه في حشر أكبر عدد من المكونات يمكن وضعه على شريحة نانوية.

(1) Extreme Ultraviolet Lithography (EUV)، أي الأشعة التي تقع تردداتها فوق ترددات الأشعة فوق البنفسجية.

(2) Defense Advanced Research Project Agency.

(3) تحتاج الطباعة بالأشعة فوق البنفسجية إلى التغطيس. وتأخر التغطيس في أن يصبح تقنية راسخة يؤخر الطباعة بالإشعاع فوق البنفسجي الأقصى.

(4) National Institute of Standards and Technology.

(5) William of Occam فيلسوف إنكليزي (1225 - 1349)، وهو صاحب مبدأ Razor، أي شفرة (حلاقة) أوكام، الذي يمثل أساس مبدأ الاختزال أو reduction ما يسمى أيضاً بقانون الاقتصاد. ومفاده أنه يجب عدم اللجوء إلى الكثرة إذا لم تكن ضرورية.

(6) (التحريك)

Feasibility of Immersion Lithography. Soichi Owa et al. in *Optical Microlithography XVII*. Edited by Bruce W. Smith. *Proceedings of SPIE*, Vol. 5377; 2004.

The Lithography Expert: Immersion Lithography. Chris Mack in *Microlithography World*; May 2004. Available online at http://sst.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=ARCHI&Subsection=Display&ARTICLE_ID=205024&p=28

Scientific American, July 2005

الصلب» تسمح بوضع عدسة من السفيغر (الباقوت الأزرق) sapphire بحيث تكون على تماس مباشر مع الفيلم الحساس للضوء، متيحة - ربما - الحصول على مسافات فاصلة بين الترانزستورات تبلغ 25 نانومتراً لجيل شببات عام 2015.

إذا حدث ذلك، فإنه يمكن ليراعة أبواب الطباعة الضوئية أن تدفع بالتقانة التي ترفع لواها اليوم الشركة إنتل، كبرى الشركات الصنعة في العالم، إلى مصيرها المحتوم، وأن تضع نهاية لأيام صناعة الشببات التقليدية، وربما لقانون «مور» أيضاً. إن الطباعة الضوئية بما يُعرف بالإشعاع فوق البنفسجي الأقصى⁽¹⁾ توجه إشعاعاً بطول موجي مقداره 13 نانومتراً نحو سلسلة من المرايا المتعددة الطبقات مهمتها تصغير حجم الصورة المُسقطَة على الرقاقة. إن العدسات لا تعمل في مثل هذه الحالة، لأن المواد تصبح غير شفافة لهذه الموجات. لقد كانت بداية بعض تقانة الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى في برنامج «حرب النجوم».

كان من المفترض أن تبدأ الطباعة الضوئية بالإشعاع فوق البنفسجي الأقصى بصنع شببات تبلغ أبعادها نحو 100 نانومتر، إلا أن التغطيس وتطورات أخرى أرجأت تسويقها تجارياً مرة تلو أخرى. ففي مؤتمر الهندسة الضوئية الذي عُقد في الشهر 3/2005، اعتبر اثنين من المتحدثين الرئيسيين هما «R. F. ييز» [أستاذ الهندسة الكهربائية في جامعة ستانفورد] و«G. ويلسون» [أستاذ الهندسة الكيميائية في جامعة تكساس بأوستن ومؤسس شركة تعمل على تطوير الإشعاع البنفسجي الأقصى كبدل]، أن التقانة التي تدعمها الشركة إنتل لن تبلغ أبداً مستوى الإنتاج التجاري نظراً للتكاليف الباهظة والتحديات الجسيمة التي تفرضها صناعة الليزرات والمواد. وقد صرح «ويلسون» في مقابلة معه بالقول «من غير المرجح، في رأيي، أن يكون الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى رابحاً».

إذا مُني الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى بالإخفاق بعد أن أنفقت عليه الصناعة بلايين الدولارات، فإنه سوف يلقي المصير نفسه الذي لاقته الطباعة الضوئية بالأشعة السينية، وهي تقانة حملت لواها الشركة IBM، وتطلبت إشعاعاً يُولده مسرع مزامن synchrotron، وأنفقت عليها الشركة IBM ووكالة مشروعات أبحاث الدفاع المتقدمة DARPA أكثر من بليون دولار. وفي الواقع، ليست أطوال موجات الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى بعيدة عن الأشعة السينية في الطيف الكهرمغناطيسي. وبما أنها تستخدم موجات أطول قليلاً من موجات الأشعة السينية، فقد ظلت تعرف باسم الطباعة الضوئية بإسقاط الأشعة السينية الضعيفة، إلى أن أصبحت عبارة «الأشعة السينية» تعني ضمناً ضياع الجهود المبذولة في عملية التطوير سدى.

أما الشركة إنتل، فمازالت واثقة من أنه سوف تكون ثمة حاجة إلى الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى حالما تصبح المسافة الفاصلة بين الترانزستورات أقل من 50 نانومتراً. يقول «J. سلفرمان» [مدير استراتيجية تقانة التجهيزات لدى إنتل]: «إن الإشعاع فوق البنفسجي الأقصى سوف يكون قادراً على الصمود أجياً لعدة»، إلا أن المحللين تنبؤوا بموت الأشكال التقليدية من الطباعة الضوئية منذ أن أصبحت أبعاد الشببات قريبة من نصف ميكرون - ومن المحتمل أن يحتاج التغطيس إلى المزيد من الوقت ليصبح تقنية راسخة، ولعل في هذا ما يُحقّق الأذى بالطباعة بالإشعاع فوق البنفسجي الأقصى⁽²⁾.

يبدو أن ثمة ما يفسر التطورات التي أعطت دفعا لقانون «مور» مع اقتراب أبعاد الشببات من الحدود الفيزيائية المطلقة، أي اقتراب

نحو سيارات تعمل بالهيدروجين^(١)

مع أن قوافل النماذج الأولية للسيارات التي تعمل بالهيدروجين قد نزلت إلى الشوارع، فما زالت هناك عوائق تقنية وتسويقية أساسية يجب التغلب عليها قبل وصول السيارات النظيفة التي تعمل بالهيدروجين إلى صالات العرض.

< 8 > اشلي

تجوب الشوارع في عشر مدن أوروبية، وهناك ثلاث حافلات إضافية ستتم تجربتها قريباً في كل من مدينتي بكين وبيرث.

وفي هذه الأثناء، فإن جميع شركات صناعة السيارات تقريباً، وخاصة الشركة تويوتا، وكذلك نيسان ورينو وفولكس فاكن وميتسوبيشي وهايونداي، إلى جانب شركات أخرى، تقوم بتجربة عدد من النماذج الأولية للعربات، ويعتبر هذا مؤشراً إلى المبالغ الهائلة التي تستثمرها هذه الشركات لتحسين هذه التقنية، ويوجد حالياً ما بين 600 و 800 عربة تعمل بخلايا الوقود تتم تجربتها في سائر أنحاء المعمورة. وقد بدأ المزدودون بتطوير وتوفير المكونات اللازمة لبناء النماذج الأولية. وإذا ما سارت الأمور على ما يرام، فإن هذه التطورات سوف تشكل مؤشراً في منتصف الطريق نحو بداية إنتاج السيارات العاملة بخلايا الوقود على نطاق تجاري، وذلك في بداية العقد المقبل.

ونظراً للبيود الحكومية التي تنظم حدود انبعاث غازات العوادم (والتي تزداد صرامة)، والتنبؤات باحتمال مواجهة نقص في إمدادات النفط، واحتمال كارثة عالمية تنجم عن الاحتباس الحراري الذي تسببه غازات الدفيئة greenhouse gases، فإن صناعة السيارات والحكومات استثمرت عشرات البلايين من الدولارات خلال الأعوام العشرة الماضية بهدف توفير تقنية دفع تتمتع بالكفاءة والنظافة ويمكنها أن تحل محل آلات الاحتراق الداخلي العريقة [انظر: «عربة التغيير» العلوم، العددان 12/11 (2003)، ص 24]. لكن بعض الانتقادات مازالت تثار حول جدية صناعة السيارات في إنتاج عربة خضراء، (لا تسبب التلوث)، وعمّا إذا كان الجهد المبذول في البحث والتطوير يعتبر كافياً للتمخض عن نجاح قريب، وتتردد الشكوك بأن ما يجري عمله بخصوص عربات خلايا الوقود هو مجرد ستار دخاني لحجب وحماية المصالح لفترة زمنية طويلة. ويجب مديرو شركات السيارات بأنهم لا يرون على المدى الطويل خياراً أفضل من عربة خلية الوقود التي تعمل بالهيدروجين، ذلك أن جميع البدائل مثل العربات الهجينة (التي تجمع بين محرك الاحتراق الداخلي والبطاريات

يبدو أن حواجز السرعة المؤتمنة القائمة على مداخل قرية نابرن Nabern في ألمانيا هي الوحيدة القادرة على محو الابتسامة عن وجه «بيريتا» الذي يتمم هامساً: «أرجو أن تخففوا السرعة هنا»، وذلك عند اقتراب سيارتنا من ضواحي هذه القرية ذات الطبيعة الخلابة. يرأس «بيريتا» فريقاً يقوم بتجهيز قافلة من 60 سيارة من أحدث سيارات دايملر-كرايزلر التي تعمل بخلايا وقود هيدروجيني والتي يطلق عليها اختصاراً F-Cell، من أجل اختبارها في العالم. ويهدف ذلك إلى إتاحة الفرصة لصانعي السيارات لتقييم هذه العربات الفعالة من حيث استخدام الطاقة التي لا تسبب أي تلوث، تحت ظروف قيادة متنوعة. ويبدو هذا المهندس متعلشاً لأن يقوم الزوار بتجربة سرعة خروج السيارة من خط سيرها، وهي إحدى المزايا التي يؤمنها المحرك الكهربائي القابع تحت الغطاء.

وعلى الرغم من نظام دفعها المتقدم تقنياً، تبدو سيارات خلايا الوقود، من حيث أدائها والتعامل معها، مثل سيارة تويوتا كورولا أو سيارة فورد فوكس أو أي سيارة صغيرة تقليدية أخرى، وهكذا فإن سيارة خلايا الوقود لا تبدو كنموذج أولي لسيارة مستقبلية، بل هي أقرب إلى كونها سيارة تنتمي إلى العالم الحقيقي. إن الاختلاف الوحيد فيها عن المألوف هو أزيز الضاغط compressor الذي يصدر ضجيجاً يتعهد «بيريتا» بأن يتمكن مهندسو الشركة من كتمه قريباً.

وليست الشركة دايملر-كرايزلر هي الوحيدة الساعية إلى إنتاج العربة النظيفة المرجوة. فبعد عقد من الزمان في البحث والتطوير الجادين، حققت صناعة السيارات في أنحاء العالم إنجازاً مرموقاً تمثل في إنتاج أولى قوافل السيارات التجريبية العاملة بخلايا الوقود والتي تبدو كفؤة في أدائها. ولن يمضي وقت طويل حتى نرى عشرين سيارة صغيرة من أحدث ما أنتجته الشركة هوندا من الفئة FCX، إضافة إلى 30 سيارة من نوع فورد فوكس FCV تسير في الشوارع والطرق السريعة. وتخطط الشركة جنرال موتورز لإنتاج 13 عربة تعمل بخلايا الوقود في نطاق مدينة نيويورك وضواحيها بهدف تجربتها عام 2006. ويوجد حالياً 30 حافلة من إنتاج دايملر-كرايزلر تعمل بخلايا الوقود

حاليا تخضع قوافل تجريبية من سيارات الشركة دايملر-كرايسلر التي تعمل بخلايا وقود هيدروجيني لأختبارات ميدانية.

الكهركيميائية)، مازالت تعتمد على حرق الوقود البتروكيميائي مما ينتج عنه ثاني أكسيد الكربون وملوثات أخرى

أحجار عثرة^(*)

إن القيادة لمدة ساعتين على الطريق الألماني السريع، تقطع فيها مسافة تقارب 140 ميلا، من قرية نابرن إلى مدينة فرانكفورت على نهر الماين، تعتبر كافية لتبين بوضوح الفارق الكبير بين سيارة تعمل بخلايا الوقود وسيارة ذات محرك

احتراق داخلي. ففي أقل من 90 دقيقة سوف تواجه مشكلة نفاد الوقود وتقف على شريعة الطريق دون أمل في التزود بالوقود. فلا سيارة خلايا الوقود ولا مثيلاتها التي تعتمد على طاقة الهيدروجين يمكنها أن تصل إلى مدى 300 ميل وهو الحد الأدنى الذي يتطلع إليه مالكو السيارات. ولما كانت محطات التزويد بالهيدروجين قليلة ومتباعدة، فإن إعادة التزود بالوقود تعتبر، في أفضل الظروف، مشكلة. وهكذا وعلى الرغم من الآمال البراقة والبيانات المتفائلة لصناع السيارات، فإن تحديات تقنية وتسويقية جادة تبقى دون حل. مما قد يؤخر طرح سيارات خلايا الوقود في الأسواق لسنوات إن لم يكن لعقد من الزمن.

وقبل أن يستعيز أولئك الذين تبوأوا سيارتي تويوتا پريوس وهوندا اكورد المهجنتين بسيارات أكثر حفاظا على البيئة، لا بد أن يتخيل صانعو السيارات والمزودون والمزوعون كيفية القيام بأمر كثيرة: زيادة قابلية السيارة لتخزين كمية أكبر من وقود هيدروجيني، وخفض كلفة ناقلات الحركة للمحركات العاملة بخلايا الوقود إلى واحد في المئة من كلفتها الحالية، ومضاعفة عمر التشغيل لمحطات الطاقة خمس مرات، وزيادة الطاقة الناتجة ليصبح بالإمكان استخدام خلايا الوقود في السيارات الرياضية وفي غيرها من العربات الثقيلة. وأخيرا فإن تشغيل هذه العربات يتطلب توفير بنية تحتية للتزويد بالهيدروجين، حتى يمكنها أن تحل محل الشبكة العالية لمحطات الوقود الحالية.

ومع ذلك يبقى بعض صناع السيارات غير مقتنعين بإمكانية تحقيق ذلك في المستقبل القريب. «ما زال أمام الإنتاج بكميات كبيرة نحو 25 عاما» هذا ما يقوله «B. راينرت» المدير الوطني لمجموعة التقانة في الشركة تويوتا المتقدمة. ويضيف «أمل ضعيف في خفض الكلفة بما فيه الكفاية، وأشعر بالتشاؤم حول إمكانية حل مشكلات تخزين الهيدروجين وتحمل هذه الأنظمة الكبيرة على عربة يمكن تسويقها.» لكن هناك مؤشرا قويا إلى أن العمل في مجال عربات خلايا الوقود مازال جاريا وهو أن جميع ممثلي شركات السيارات تقريبا يدعون

الحكومة إلى زيادة الإنفاق في مجال البحث الأساسي وفي مجال أنظمة توزيع الهيدروجين، من أجل التغلب على هذه العقبات.

قضايا المكادس^(**)

تعتبر السيارة أو الحافلة أو الشاحنة العاملة بخلايا الوقود في الحقيقة عربة كهربائية تستمد طاقتها من جهاز يعمل كبطارية قابلة لإعادة الشحن. ولكن، بخلاف البطارية، فإن خلية الوقود لا تخزن الطاقة، بل تستخدم عملية كهركيميائية لتوليد الكهرباء، ويمكنها القيام بدورها مادامت تزود بالهيدروجين والأكسجين (انظر الإطار في الصفحة 20).

يوجد في قلب خلية وقود السيارة غشاء رقيق لتبادل البروتونات (Proton-Exchange Membrane (PEM، وهو بوليمر (مادة بلاستيكية) مصنوع من الكربون والفور، يقوم بدور الكهرل (الإلكتروليت) electrolyte لنقل الشحنة الكهربائية. كما يقوم بدور حاجز فيزيائي يحول دون امتزاج وقود هيدروجيني مع ذرات الأكسجين. تنتج الطاقة الكهربائية اللازمة لتسيير سيارة خلية الوقود من جراء سحب الإلكترونات من ذرات الهيدروجين عند مواقع الحفز على سطح الغشاء. وبعد ذلك تنتقل حاملات الشحنة، وهي أيونات الهيدروجين أو البروتونات، عبر الغشاء وتتحد مع أكسجين وإلكترون لتكوّن الماء، وهو الناتج الوحيد من العادم. وتُجمّع الخلايا الفردية في ما يسمى مكادس stacks (جمع مكُدس).

يختار المهندسون خلايا الوقود ذات غشاء تبادل البروتونات PEM، لأنها تحول نحو 55 في المئة من طاقة الوقود التي توضع فيها إلى شغل فعلي، في حين يبلغ رقم الفعالية أو الكفاءة لمحرك الاحتراق الداخلي نحو 30 في المئة. وهناك مزايا أخرى مثل درجات حرارة التشغيل المنخفضة نسبيا (نحو 80 درجة سيليزية)، ودرجة معقولة من الأمان، والأداء الجايد، وسهولة التشغيل وقلة متطلبات الصيانة.

خلال السنوات العشر الماضية، أنفقت عشرات البلايين من الدولارات على عربات تعمل بالهيدروجين.

15-10 في المئة وتعمل عند مستويات رملوية أدنى (أي إن متاعبها أقل). وبينما تكلف الأغشية الفلوروكربونية نحو 300 دولار للمتر المربع، فإن المادة التي أنتجتها الشركة PolyFuel تصل كلفتها إلى النصف (انظر الإطار في الصفحة 20). وعلى الرغم من أن العديد من الباحثين مازالوا يشككون في الأغشية الهيدروكربونية، فإن الشركة هوندا استخدمتها في أحدث نماذج عرباتها (FCX) التي تعمل بخلايا الوقود.

سر الحفاز

يتمثل المفتاح الآخر لتشغيل غشاء التبادل البروتوني في طبقة رقيقة من حفاز (عامل مساعد) يحتوي على البلاتين ويغلف جانبي الغشاء ويشكل 40 في المئة من كلفة المكس. ويقوم الحفاز بتجينة الهيدروجين (من الوقود) والأكسجين (من الهواء) للمشاركة في تفاعل أكسدة وذلك من خلال مساعدته لكلا الجزئين على الانقسام (الانتشار) والتأين وإطلاق أو استقبال بروتونات وإلكترونات. وعلى جانب الغشاء الذي يوجد فيه الهيدروجين ينبغي أن يرتبط جزئي هيدروجين (يحتوي على ذرتي هيدروجين) بموقعين متجاورين من الحفاز، مما يؤدي إلى إطلاق أيونات هيدروجين موجبة الشحنة (بروتونات) تقوم بعبور الغشاء. ويحدث التفاعل المعقد على الجانب الأكسجيني حينما يتزاوج أيون هيدروجين وإلكترون مع أكسجين ليتكون الماء. وينبغي التحكم الدقيق في التتابع الأخير حتى لا يؤدي إلى تكون منتجات جانبية هدامة مثل فوق أكسيد الهيدروجين، الذي يقوض مكونات خلية الوقود.

ونظرا لارتفاع كلفة المكونات من المعدن الثمين (البلاتين)، يسعى الباحثون إلى إيجاد طرق تهدف إلى تقليل المحتوى من البلاتين. ولا تقتصر جهودهم على التوصل إلى طرق تزيد من نشاط الحفاز، بحيث تستخدم كمية أقل من البلاتين لإنتاج القوة أو الطاقة المحركة نفسها، بل تتعدى ذلك إلى تحديد كيفية تشكيل بنية ثابتة للحفاز لا تنقوض مع مرور الوقت، وإلى تجنب حدوث تفاعلات جانبية تؤدي إلى تلويث الغشاء. ومن النجاحات التي تحققت في زيادة فاعلية الحفاز تلك التي قام بها الباحثون في المؤسسة 3M Corporation، حيث صنعوا سطوح غشاء ثانوية البنية، مغطاة «بغايا» من أعمدة بالغة الدقة» مما يزيد مساحة التحفيز بشكل واضح. وركز توجه آخر على أساليب راوحت بين استخدام حفازات من معادن غير رخيصة مثل الكوبالت والكروم، أو استخدام حفازات تتكون من مشتقات دقيقة لجسيمات مدفونة في مواد مسامية مركبة.

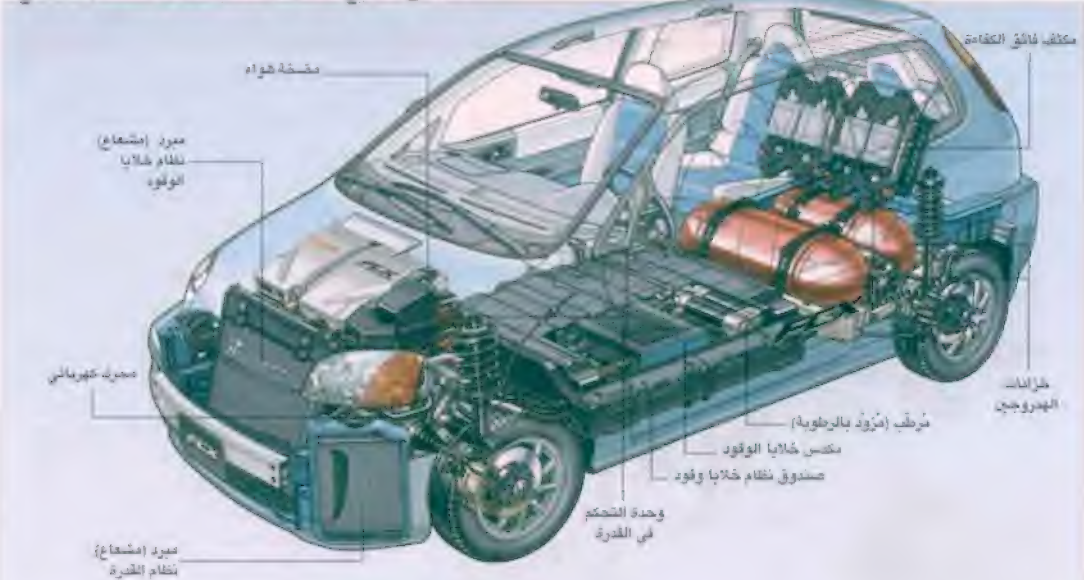
إن إنتاج سيارة تعمل بخلية الوقود على نطاق تجاري نحو عام 2015 يعتمد على التحسينات التي ستطرأ على تقانة الغشاء، الذي يستحوذ على نحو 35 في المئة من كلفة مكس خلية الوقود. ويضع الباحثون في اعتبارهم تحقيق عدد من التحسينات اللازمة مثل العبور المنخفض للوقود من أحد جوانب الغشاء إلى الجانب الآخر. ومزيد من الثبات الكيميائي والميكانيكي للغشاء ليوفر مزيدا من المتانة، والسيطرة على التفاعلات الجانبية غير المرغوبة، إضافة إلى قدرة أعلى على تحمل التلوث بشوائب الوقود أو تلك الناجمة عن نواتج جانبية غير مرغوبة مثل أحادي أكسيد الكربون. إضافة إلى ذلك كله، فإن المطلوب هو خفض شامل لكلفة جميع المراحل.

وفي خريف عام 2004 ترددت أنباء عن حدوث تطور خارق في تقانة الغشاء مما أحدث نشاطا ملحوظا في دوائر البحث في مجال خلايا الوقود. فقد أعلنت الشركة PolyFuel، وهي شركة صغيرة في مدينة Mountain View بولاية كاليفورنيا، أنها صنعت غشاء، من بوليمر هيدروكربوني، تقول إنه يتمتع بأداء رفيع وكلفة منخفضة، ويتفوق بذلك على أغشية البوليمرات الفلورية السائدة. ويقول «بالكوم» [مدير الشركة Poly Fuel] ميتسما «إنه يشبه لفافة الساندويتش». ويقدم عددا من الأسباب التي تجعل الرقاقة التي تشبه السيلوفان أفضل أداءً من الأغشية الفلورية وبخاصة المنتج Nafion من الشركة DuPont. فالغشاء الهيدروكربوني يمكنه أن يعمل عند درجة حرارة أعلى من تلك التي تعمل عندها الأغشية الحالية، لتصل إلى نحو 95 درجة سيلزية، مما يسمح باستخدام مبردات (مشعاعات) radiators أصغر للتخلص من الحرارة وتبديدها. ويدعي «بالكوم» أنها تدم فترة تزيد بنحو 50 في المئة على الأغشية الفلوروكربونية، إضافة إلى أنها تولد قدرة تزيد بنحو

نظرة إجمالية/ آلات خضراء

- « اجازات صناعة محركات العربات حديثا مرحلة مهمة حين نظمت قواا تجريبية على الطرقات لبعض سيارات خلايا الوقود (التي تبدو عملية بدرجة معقولة، وذلك بعد نحو عشر سنوات من ظهور أول سيارة تجريبية على الطرقات، وخلال تلك الفترة، انلق صانعو السيارات والحكومات عدة بلايين من الدولارات على البحث والتطوير لكن الأمر يحتاج إلى أكثر من ذلك قبل أن يبدأ إنتاج هذه السيارات على نطاق تجاري.
- « على الرغم من القوانين الصارمة المتعلقة بحدود التلوث المسموح بها واحتمال نقص مصادر النفط والتهديد الناجم عن الاحتباس الحراري، فإن إنتاج سيارات خلايا الوقود بكميات كبيرة لن يتحقق قبل منتصف العقد المقبل وربما بعد ذلك بكثير.
- « لا بد من حدوث نقص كبير في القدرة على تخزين الهيدروجين الذي تحمله السيارة، ومثانة خلايا الوقود وقدرتها إضافة إلى تقليل الكلفة، وذلك قبل أن يمكن تسويق سيارات خلايا الوقود. ولا بد أيضا من إقامة نظام لإنتاج الهيدروجين وتوزيعه.

نموذج أولى لسيارة خلية وقود هيدروجينية



وقود السيارة FCX، الذي صممت هوندا بكلفة منخفضة، عشاء، مصفوف من
بالبلاستيك هزبروكريوني يتشعب بمثابة عالية وهناك مكثف فائق الكفاءة، وهو جهاز
يقوم بتخزين الطاقة في المحلول الموجودة بين اللوحات المشحونة كهربائياً -
يتغير توفيق قدرة إضافية أثناء التجاوز أو صعود المرتفعات أما الطاقة الثانوية
الاجتماعية من نظام المكابح المتجدد فيتم استخدامها بوساطة المكثف الفائقة الكفاءة.

يعتبر طراز سيارة هوندا FOX لعام 2005 عثالا نونجيا لتقانة خلية وقود هيدروجيني الحالية ويمكن لهذه السيارة المتسعة ذات المقاعد الأربعة والتي تبلغ سرعتها القصوى 193 ميلا في الساعة أن تقطع ما يزيد على 300 ميل وبلغ استهلاك الكافئ للوقود للقيادة داخل المدينة 82 ميلا لكل غالون من الوقود، و 51 ميلا لكل غالون عند القيادة على الطرقات السريعة. ويوفرها في مكندس حاليا

تخزين الهيدروجين الذي تحمله السيارة¹⁴⁴

ليبقى الهدروجين سائلا، وعلى الرغم من العزل الكامل، فإن التبخر عبر مانعات التسرب يفقد هذه الأنظمة يوميا نحو 5 في المئة من مجموع الهدروجين المخزون.

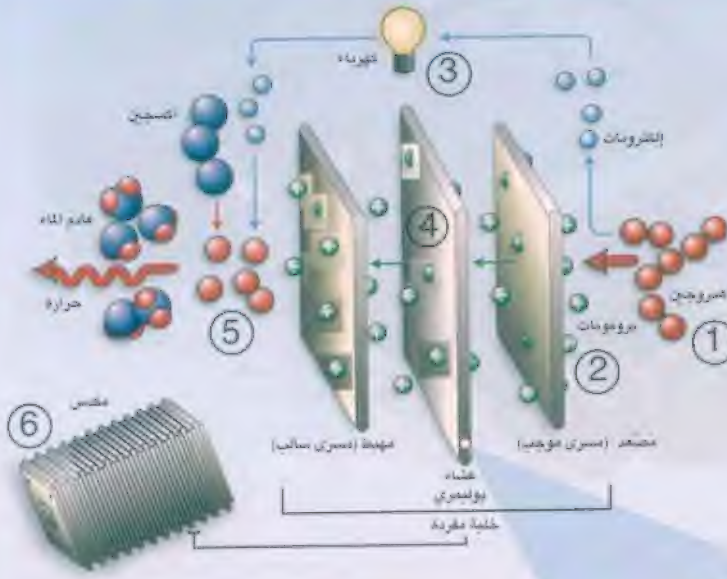
هناك العديد من تقانات التخزين البديلة التي يجري تطويرها، لكن دون أن يحدث تقدم موثوق. ويقول «إ. بيرنز» [نائب الرئيس لشؤون البحث والتطوير والتخطيط في الشركة جنرال موتورز]: «هناك فارق واضح بين ما يمكن تنفيذه في المختبر وبين نظام تخزين كامل التصميم يمكن التوصل إليه بحيث يدوم طويلا ويكون مدمجا وصغير الحجم».

ومن المحتمل أن تحتل نظم هيدريد المعادن metal hydride مركب الصادرة بين تقانات التخزين، حيث يمكن لمعادن عديدة وسبائك alloys (أن تحمل الهيدروجين على سطوحها إلى أن ينطلق للاستخدام بمفعول الحرارة. ويُفسر «R» ستمبل» [رئيس ECD Ovonic وهي جزء من الشركة Texaco Ovonic Hydrogen System التي تحتل المركز (الأول في هذا المجال] بقوله: «فكر في إسفنجية للهيدروجين» ويتم في هذه التقنية تعبئة غاز الهيدروجين في خزانات تحت الضغط، وعندما يرتبط الهيدروجين بالشبيكة البلورية للمعدن المعني من خلال تفاعل يتص الحرارة وتسمى المركبات الناتجة هيدريدات المعادن وتستخدم الحرارة الزائدة من المكاسد لعكس التفاعل مما يؤدي إلى

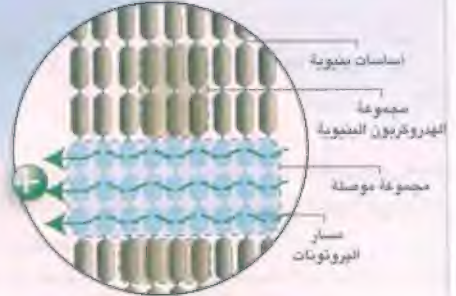
إن أحد المواضيع الرئيسية التي تشغل بال أنصار عربات خلايا الوقود، هو مدى قدرة المهندسين على تزويد العربة بكمية كافية من الهيدروجين تغطي متطلبات المستخدمين في الوصول إلى أهدافهم. إن خمسة إلى سبعة كيلوغرامات من الهيدروجين تكفي لقيادة السيارة مسافة تبلغ نحو 400 ميل، لكن النماذج الأولية الحالية تستطيع حمل ما بين 2.5-3.5 كيلوغرام. ويقول «د. كامبل» [المدير التنفيذي للشركة Ballard Power Systems في مدينة فانكوفر، وهي أكبر منتج لمكادس خلايا الوقود: «لا يعرف أحد في الحقيقة كيف يمكن تخزين ضعف الكمية الحالية في حجم معقول».

ويُخزّن الهيدروجين عادة في خزانات ضغط كغاز تحت ضغط عالٍ عند درجات الحرارة العادية. ويعمل الكثير من فرق المهندسين على مضاعفة كمية الضغط الحالية البالغة 5000 رطل لكل بوصة مربعة (psi) الخاصة بخزانات الضغط المصنوعة من مواد مركبة. إلا أن مضاعفة الضغط لا تزيد طاقة التخزين إلى الضعف. ولقد تم نجاح اختبار نظم الهيدروجين السائل التي تخزن الوقود عند درجات حرارة أقل من (253) درجة سيليزية تحت الصفر، إلا أن هذه النظم تعاني مشكلات رئيسية. إذ إن نحو ثلث الطاقة المنتجة من الوقود يجب أن يستخدم للحفاظ على درجات الحرارة المنخفضة

خلايا الوقود من الداخل



تعمل خلية الوقود كبطارية قابلة لإعادة الشحن، وتقوم بتوليد الكهرباء مادام تزويدها بالهيدروجين والأكسجين مستمرًا. وتتكون خلية الوقود التي تحتوي على غشاء تبادل بروتوني (PEM) (في اليسار) من مسرىين (الكثودين) رقيقين مسابين، وهما المسرى الموجب (المصعد) anode والمسرى السالب (المحفلة) cathode، يفصلهما كهول electrolyte مكون من غشاء بوليمري صلب، ويغلف سطح واحد لكل مسرى بمحفاز يحتوي على البلاتين، ويعد أن تدخل ذرات الهيدروجين إلى الخلية (1) يقوم محفز المسرى الموجب بفصلها إلى إلكترونات وبروتونات (2) وتتوجه الإلكترونات عبر دائرة خارجية لتشغيل محرك القيادة (3)، في حين تهاجر البروتونات عبر الغشاء (4) إلى المسرى السالب، وهنا يقوم المحفز على تلك الجانب بتوحيد البروتونات مع الإلكترونات العائنة وكذلك مع أكسجين الهواء، لتوليد الماء والحرارة (5). ويحدث عند كثير من الخلايا في مكاسس لإنتاج جهد كهربائي عال (6).



تدعى الشركة PolyFuel صانعة الأغشية الهيدروكربونية أن هذه الأغشية تدوم لفترة أطول وتولد طاقة أكبر وهي أقل كلفة من أنواع الأغشية الفلوروكربونية الحالية. ويعتمد مفهوم هذه الشركة على دمج مجموعات من أصناف البوليمرات الفائقة التوصيل لتسهيل مرور البروتونات وتزويد من إنتاج الطاقة. وهذه المواد الموصلة ترتبط بمجموعات من البوليمرات الفائقة المثانة التي من شأنها تقوية ودعم بنية الغشاء وتحسين مدة خدمته. ونظرا لأن نوعي البوليمرات لهما قابلية كيميائية ضعيفة أحدهما تجاه الآخر فإن كلا منهما يتفصل عن الآخر أثناء المعالجة ليتوزعا بين المجموعتين العاملتين، مما يسهل عملية التصنيع.

«مُعززة» promoter وهي رباعي هيدروفيوران، تستطيع تثبيت هدرات الغاز عند ضغط أقل كثيرا يصل إلى 1450 رطلا لكل بوصة مربعة وفي الناحية النظرية، يمكن استخدام 120 لitra من الماء (ترن 120 كيلوغراما) لتخزين نحو ستة كيلوغرامات من الهيدروجين.

مكاسس مجمدة

في صباح يوم بارد عاصف من أواخر الشهر 2004/11، تجمع عدة مئات من المواطنين خلف مبنى برلمان ولاية نيويورك في مدينة الباني، ليستمعوا إلى ترحيب الحاكم «E.G» باتاكي» بإطلاق ولاية نيويورك لاثنتين من سيارات هوندا FCX التي تعمل بخلايا الوقود وكانت حرارة الجو هي ما جعلت هذا الحدث ملحوظًا، إذ إن جميع

(1) نوع من المطوى يصنع من الثلج الجروش والسكر وكسبات النكهة. (التحذير) Freezing Sticks (**) Honda Fuel Cells (x)

إطلاق الوقود. وفي الشهر 2005/1، أطلقت كل من الشركة جنرال موتورز ومختبرات سانديا الوطنية برنامجا كلفته عشرة ملايين دولار ويستمر أربع سنوات بهدف تطوير نظم تخزين هديد المعادن وتعتمد على هديد صوديوم المونيوم.

ونظرا لثقل نظم تخزين هديد المعادن (حيث ترن نحو 300 كيلوغرام)، قام الباحثون في جامعة لفت للثقانة بهولندا بابتكار طريقة لتخزين الهيدروجين في ثلج الماء water ice على شكل هدرات الهيدروجين hydrogen hydrates، حيث يتم احتباس الهيدروجين في تجاويف الثلج التي تكون بحجم الجزيئات. وبطبيعة الحال فإن الماء أخف كثيرا من سبائك المعادن. لكن هذه المقاربة غير عملية بسبب صعوبة تكوين هدرات الهيدروجين، نظرا لحاجتها إلى درجات حرارة منخفضة وضغوط شديدة الارتفاع تبلغ نحو 36 000 رطل لكل بوصة مربعة. ومن خلال تعاون فريق جامعة لفت مع مدرسة كولورادو للمناجم، تم التوصل إلى استخدام مادة كيميائية

خلايا وقود مقاومة للتجمد^{١٢}



كان صناع مكادس خلايا الوقود يهدفون دائما إلى مقاومة درجات الحرارة دون الصفر المئوي؛ ذلك أن المكادس إذا تجمدت يتحول الماء بداخلها إلى ثلج، وهذا يؤدي إلى تعب الأعشبية وانسداد الأنابيب، وقد بين مهندسو الشركة هوندا في عام 2004 أن محرك السيارة FCX ذات الباب الخلفي (في اليسار) التي تعمل بمحرك خلايا وقود يمكن أن يشغل ويشكل متكرر عند درجة حرارة 20 سيلزية تحت الصفر وتوجد الباحثون في الشركتين دايملر-كرايسلر وجنرال موتورز إلى نتائج مشابهة في المختبر تتعلق بتجمد المكادس (في الأسفل) « ويبدو أن السر في هذا الأمر يتعلق بحفظ جميع الماء داخل النظام في الحالة الباردة»



الكفاءة، وهو جهاز يخزن الطاقة في المجالات الكهربائية بين صفائح الأقطاب المشحونة، مما يؤدي إلى التزويد بنقعات قصيرة من القدرة الإضافية أثناء التجاوز أو صعود المرتفعات. هذا في حين يستخدم معظم صناع السيارات بطاريات لهذا الغرض

قضايا البيئة التحتية^{١٣}

في نفس ذلك اليوم من الشهر 11 تجمع بعد ذلك حشد أكثر حماسا بمناسبة النصف الثاني من الاحتفال، تجمعوا في مركز

برامع العروض السابفة لسيارات خلايا الوقود حدثت في أجواء أكثر دفئا، وكان القصد من ذلك إثبات أن مكادس خلايا الوقود لهذه السيارات لن تتجمد. وفي التصاميم السابفة كان يمكن لدرجات الحرارة التي تقل عن الصفر أن تحول الماء السائل إلى بلورات ثلج ممتدة، أي ذات حجم زائد، مما يمكن أن يؤدي إلى خرق الأعشبية أو تزريق خطوط الماء. وقد قام مهندسو الشركة هوندا في وقت مبكر من السنة بإظهار قدرة وحدات خلايا الوقود الخاصة بهم على الصمود أمام ظروف الشتاء، وهذا يعتبر إنجازا هندسيا مهما لاجتماع الباحثين في مجال خلايا الوقود

لا أحد يعرف حقا كيف يمكن تخزين كمية كافية من الهيدروجين في حجم معقول.

لائام Latham القريب، وهو المركز الرئيسي للشركة Plug Power في ولاية نيويورك التي تصنع الوحدات الثابتة لإنتاج الطاقة من خلايا وقود هيدروجيني، والتي تستخدم لدعم استخدامات القدرة أو القوة. وكانت المجموعة المبتهجة التي تتكون أساسا من العاملين في المركز Plug Power قد تجمعت هناك لتحفل بافتتاح محطة تزويد بوقود هيدروجيني كانوا قد طوروها بالتعاون مع مهندسي الشركة هوندا، وكانت محطة بيت الطاقة H تحتوي على محطة كيميائية مُصغرة - مركز وحدة تحسين (تهذيب) تعمل بالبخار steam reformer - تقوم باستخلاص وقود هيدروجيني من الغاز الطبيعي المدفوع فيها، باستخدام طريقة تعتمد على البخار ويقول R. سيلانت [المدير التنفيذي في المركز Plug Power] «إن

وبعد الخطاب أوضح <H> نايت» [نائب رئيس البحث والتطوير في هوندا الأمريكية] أن نماذج سيارات هوندا FCX لعام 2005 المقاومة للتجمد، يمكن تشغيلها بشكل متكرر عند درجات حرارة تبلغ 20 درجة سيلزية تحت الصفر، وتدعي شركات سيارات أخرى بما فيها دايملر-كرايسلر وجنرال موتورز أنها نجحت أيضا في تجارب مختبرية لتشغيل المكادس عند درجات حرارة منخفضة (انظر الإطار في هذه الصفحة)

وإضافة إلى إمكانية تشغيل نموذج هوندا FCX لعام 2005 الذي يعمل بخلايا الوقود عند درجات الحرارة المنخفضة في منتصف الشتاء، تظهر هذه السيارة، وهي سيارة مدمجة بأربعة مقاعد وذات باب خلفي، مزايا تقنية أخرى تفوق النموذج الذي ظهر منذ عامين. وتعتبر السيارة FCX غير عادية لأنها تستخدم، مثلا، مكثفا فائق

Infrastructure Issues (١٠٠)

Freeze-Proof Fuel Cells (١٠١)

لتوفير بنية تحتية قبل أن تتوافر قوافل من العربات على الطرقات وهكذا فإن السؤال هو: كيف تخلق الطلب؟ [انظر: «تساؤلات حول اقتصاديات الهيدروجين»، **العلوم**، العددان 7/6 (2004)، ص 20].

قدرت دراسة أجرتها الشركة جنرال موتورز أن هناك حاجة إلى إنفاق ما بين 10 و 15 بليون دولار لبناء 11 700 محطة تزويد بالوقود، وهو العدد الكافي الذي يجعل السائق لا يبعد أكثر من ميلين عن محطة ووقود هيدروجيني في معظم المناطق الحضرية الرئيسية، وهكذا تصبح المسافة بين كل محطة والتي تليها على الطرقات السريعة نحو 25 ميلا. إن هذا التركيز في محطات الهيدروجين في المناطق الحضرية يمكنه أن يخدم ما يقدر بنحو مليون عربة تعمل بخلايا الوقود. ويسرّخ: «كاميل» قائلا: «إن إنفاق 12 بليون دولار على تمديدات نظم الكبلات يعتبر تحولا هجعا، إذا عرفنا أن مشغلي الكبلات يتفقون بمبلغ 85 بليون دولار على تمديدات نظم الكبلات.»

وتشكل محطة تزويد الوقود في لاثام، إضافة إلى عشرات المحطات الأخرى المنتشرة من أوروبا إلى كاليفورنيا إلى اليابان، الخطوات الأولى المتعددة تجاه بناء البنية التحتية. ويقول «كاميل»: هناك سبعون محطة جديدة ستبدأ بالعمل في مختلف أنحاء العالم، إضافة إلى أن برنامج طرق كاليفورنيا السريعة للتزويد بالهيدروجين حدد لنفسه هدفا بإنشاء 200 محطة جديدة.

وحدثنا قدرت لجنة من الأكاديمية الوطنية للعلوم، أن عملية التحول إلى «اقتصاد الهيدروجين» قد تستغرق عقودا من الزمن، لأن هناك العديد من التحديات الصعبة، ومن ضمنها كيفية إنتاج وتخزين وتوزيع الهيدروجين بكميات كافية وبكلفة معقولة، دون أن يؤدي ذلك إلى إطلاق غازات الدفيئة (الملوثة) التي تسهم في احتراق الغلاف الجوي. ولأسوء الحظ، فإن استخلاص الهيدروجين من غاز الميثان يولد ثنائي أكسيد الكربون، وهو من غازات الدفيئة الأساسية. ومن ناحية أخرى، إذا اعتمدت مصادر الطاقة اللازمة لعملية التحليل الكهربائي للماء لتوليد الهيدروجين والأكسجين على حرق الوقود الأحفوري، فإن ذلك سوف يولد أيضا غاز ثنائي أكسيد الكربون. وإضافة إلى ذلك فإن غاز الهيدروجين له قابلية عالية للتسرب من السيارات ومن منشآت إنتاجه إلى الجو، وهذا من شأنه أن يتسبب في تفاعلات كيميائية تولد غازات الدفيئة. وأخيرا فإن استخدام الوقود الأحفوري لإنتاج الهيدروجين يستهلك طاقة أكبر من تلك الكامنة في الهيدروجين الناتج.

طور الباحثون في Idaho National Engineering and Environmental Laboratory and Ceramtec في مدينة سولت لايك طريقة لتحليل الماء كهربائيا وإنتاج هيدروجين نقي باستخدام كمية أقل بكثير من الطاقة مقارنة بالطرق الأخرى. ويشير عمل الفريق إلى أعلى معدل إنتاج معروف للهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي عند درجات الحرارة العالية، وتعتمد

Hydrogen Gas Stations (+)

حجمها يبلغ نصف حجم النسخة السابقة». ويضيف «إضافة إلى قياسه بإعادة تزويد العربات بالوقود، فإن النظام يغذي بالهيدروجين مكس خلية وقود لإنتاج الكهرباء التي نستخدمها في تدفئة مبنى مركزنا الرئيسي، الذي تجري تدفئته جزئيا أيضا بواسطة الحرارة الضائعة التي تولدها الوحدة.»

وعلى أصوات الموسيقى الصاخبة، سارت إحدى سيارات FCX نحو مضخة التزويد بالوقود، وهي صندوق معدني بصم موقد مطبخ فاخر تم تركيبه في موقف سيارات الشركة. وفي البداية قام مسؤول بوصل السيارة بالأرض بواسطة سلك لتفريغ الشحنة، ثم سحب خرطوم الوقود من المضخة نحو فوهة تزود سيارة FCX بالوقود ثم أدخله في الخرطوم وأحكم وضعه في مكانه المحدد. وانتهت عملية تزويد الوقود بعد نحو خمس أو ست دقائق. وأوضح «نايت» أن المضخة تنتج كمّا من الهيدروجين يكفي لإعادة تزويد عربة خلايا وقود واحدة كل يوم.

وبعد ذلك، ناقش «نايت» المشكلات التي تواجه تطور البنية التحتية للهيدروجين قائلا: «إنها مشكلة البنية والحاجة، إذ ليس هناك طلب أو حاجة إلى سيارات أو ناقلات تعتمد على خيارات محدودة للتزويد بالوقود، لكن أحدا لا يريد أن يتفق مبالغ ضخمة

محطات غاز الهيدروجين⁽⁺⁾

ما زالت المحطات التي تزود بوقود هيدروجيني نادرة الوجود. ويتوافر حاليا في جميع أنحاء العالم نحو 70 وحدة عاملة للتزويد بوقود هيدروجيني، منها 64 وحدة في كل من الولايات المتحدة وأوروبا و12 وحدة في اليابان وعشر وحدات في أسكنة أخرى من العالم. وتوضح الصورة عملية تزويد سيارة



فورد فوكس فئة FCV بالهيدروجين المضغوط. وهذه العملية تستغرق في المعدل نحو خمس دقائق، ولا بد قبل البدء بالتزويد من وصل السيارة بسلك أرضي لتجنب تكون الشرارات الكهربائية. وقد قام الفرع الأمريكي للشركة هوندا في مركزه بمدينة تورانس في كاليفورنيا ببناء محطة خدمة (في الأسفل) يتم فيها شطر الماء إلى الأكسجين ووقود هيدروجيني باستخدام طاقة تولدها حيفض شمسي كهروضوئي photovoltaic. وتعتبر هذه الطريقة نموذجا مثاليا لإنتاج الهيدروجين الأخضر (الذي لا يسبب تلوث البيئة).



حرية التصميم في سيارات خلايا الوقود



تحمل سيارة جنرال موتورز الجديدة من الفئة Sequel التي تعمل بخلايا الوقود (في اليسار) ما يكفي من الوقود لتقطع مسافة 300 ميل، وهو الحد الأدنى المقبول. ويمكنها ذلك من خلال تزويدها بسبعة كيلوغرامات من الهيدروجين داخل هيكل متحرك تبلغ سماكته 11 بوصة (الشكل السفلي الأيسر) وهو يحتوي أيضا على معظم نظم القيادة العاملة للسيارة الرياضية SUV وتظهر هذه السيارة كيف يمكن لجميع العربات الكهربائية أن تضرر تفكير مصممي السيارات بحيث يعيدون النظر في هيكل وشكل نماذج المستقبل ونظرا لإمكانية الاستعاضة عن المكونات الميكانيكية ببدايل إلكترونية بالكامل، فإن التصميم الداخلي يصبح متاحا للتصرف به (الشكل السفلي الأيمن). ويعلق «8» بونافايس «أمير التصميم المتقدم في الشركة جنرال موتورز» قائلا: «تصور كل المساحة المتوافرة عند الاستغناء عن عجلة القيادة الكبيرة». ويستطرد قائلا: «سيكون لدينا ما يكفي من المساحة لوضع صندوق تخزين كبير في مقدمة العربة، وهو أمر لم نسمع به من قبل، ولا شك أن الأمر سوف يحوّل ذلك».



الولايات في القرن العشرين. ثم يتنبأ «بأن التساؤلات التي سوف تطرح قريبا ستتركز حول اتخاذ القرارات الخاصة بكيفية تأمين الأموال اللازمة، وستكون هذه المسألة أكثر أهمية من التساؤلات حول التقنية» إن توفير حلول لذلك العدد الذي لا يحصى من المشكلات التقنية والتسويقية هو ما سيحدد إن كان الإنتاج التجاري لعربات خلايا الوقود، الذي يشكل قطب الرّيح في اقتصاد الهيدروجين المقترح، سوف يتوافر بعد 10 سنوات أو بعد 50 سنة.

Ford Cell-Driven Design Freedom (v)

المؤلف

Steven Ashley

كاتب ومحرر في مجال التقنية.

مراجع للاستزادة

Available online at:

Ballard Power Systems: www.ballard.com/

DaimlerChrysler: www.daimlerchrysler.com/dccom

ECO Onics: www.evonics.com/

Ford: www.ford.com/en/default.htm

General Motors: www.gm.com/

Honda: www.honda.com/index.asp?bhc=1

PolyFuel: www.polyfuel.com/

Toyota: www.toyota.com/

Scientific American, March 2005

طويقتهم على جعل الكهرباء تسري عبر الماء الذي سبق تسخينه إلى حرارة تقارب 1000 درجة سيلزية. وعندما تنشط جزيئات الماء إلى هيدروجين وأكسجين، تقوم مصفاة خزفية بفصل الأكسجين عن الهيدروجين، ويمتلك الهيدروجين الناتج نصف قيمة الطاقة التي استخدمت في إجراء العملية، وهذا أفضل من الطرق الأخرى المنافسة.

ويجادل مؤيدو استخدام الهيدروجين بأن الحجج التي تثار حول البنية التحتية تشكل محاولة للتضليل. وفي هذا المجال يوضح «كامبل» «أن الصناعة الأمريكية حاليا تنتج بين 50 و 60 مليون طن من الهيدروجين سنويا، وهكذا فإن الأمر لا يبدو وكأنه لا تتوافر أية خبرات في التعامل مع الهيدروجين». لكن صناع السيارات لهم رأي آخر، حيث يشكو «8» كوهلر «نائب رئيس أبحاث الهياكل وطاقات التشغيل في الشركة دايملر-كرايسلر» قائلا «إن ما يراوح بين 50 و 60 في المئة من المشكلات التي تواجه خلايا الوقود تعود إلى الملوثات الموجودة في الهيدروجين الذي نشتره من الصناعة، وهكذا يجب على الصناعات الكيميائية أن تقوم بواجبها لحل هذه المشكلة».

ويشبه «8» ماك كورمك «الدور التقني لأنشطة خلايا الوقود في الشركة جنرال موتورز» الاستثمار في عمليات إقامة بنية تحتية للهيدروجين في القرن الحادي والعشرين بالاستثمار في بناء سكك الحديد في القرن التاسع عشر أو بإنشاء شبكة الطرق السريعة بين

توجه جديد في معالجات مرض باركنسون^(*)

ثمة اكتشافات جينية وخلوية حديثة بين التقدمات في تحديد معالجات محسنة بخصوص هذا الاضطراب المتزايد انتشاره.

<A, M, لوزانو> - <K, S, كاليا>

واختلال التوازن والتنسيق، هي أعراض من بين بصمات هذا المرض. ويضاف إلى ذلك، أن بعض المرضى يشكون من صعوبات في المشي أو التحدث أو النوم أو التبول أو الأداء الجنسي.

تنتج هذه الاعطال من نموت العصيونات. ومع أن عصيونات المصاب كثيرة العدد وتوجد في كل أرجاء الدماغ، فإن العصيونات التي تولد الناقل العصبي^(**) (الدوبامين) (dopamine) في منطقة الدماغ التي تدعى المادة السوداء substantia nigra إنما تتعرض للإصابة القاسية بوجه خاص. وتشير إلى أن هذه الخلايا العصبية الدوبامينية الفعل dopaminergic هي المكونات الرئيسية للعقد القاعدية basal ganglia التي تمثل دائرة معقدة في أعماق الدماغ توالف وتنسق الحركات (انظر الإطار في الصفحة 26). ففي البداية، يستطيع الدماغ أداء وظيفته بشكل اعتيادي أثناء فقدانه عصيونات دوپامينية الفعل في المادة السوداء مع أنه لا يستطيع تعويض العصيونات الميئة. ولكن حين يتلاشى نصف عدد هذه الخلايا أو أكثر، لا يعود الدماغ قادراً على تغطية هذا المقدار. وعندما يولد هذا النقص التأثير نفسه الذي ينجم عن فقدان التحكم في مرور الطائرات في إحدى

أنه يمكن للمرض أن يهاجم الذين لم يبلغوا سن الأربعين.

لم يجد الباحثون والأطباء السريريون حتى الآن أي وسيلة لإبطاء أو وقف أو الحيلولة دون مرض باركنسون. ومع وجود علاجات لهذا المرض (منها العقاقير وتثبيته أعماق الدماغ)، فإنها تخفف الأعراض فقط، وليس الأسباب، ولكن في السنوات الأخيرة برزت بضعة تطورات وأعدة. تذكر على وجه الخصوص أن الباحثين الذين يدرسون الدور الذي تؤديه الهرمونات في هذا الصدد، تمكنوا من الربط بين بروتينات مشوهة^(***) وأسس جينية^(****) لهذا المرض. وتبعث مثل هذه المكتشفات التفاؤل بتحديد توجهات جديدة لعلاجته.

ومثلما يوحي الاسم الذي أعطي له في القرن التاسع عشر (شلل راجف)، وحسيما يعرف الناس عن بعض الشخصيات البارزة التي عانت مرض باركنسون، مثل «جانيت رينو» و«محمد علي كلاي» و«ميشيل فوكس»، فإن هذا المرض يتميز باضطرابات حركية، فارتعاش اليدين والذراعين وغيرها، وصلل الأطراف limb rigidity وبطء الحركة

إن مرض باركنسون، الذي وصفه الطبيب البريطاني «جيمس باركنسون» لأول مرة في السنوات الأوائل من 1800 بأنه «شلل راجف» «shaking palsy»، هو أحد أكثر الاضطرابات العصبية انتشاراً، فوفق ما تذكر الأمم المتحدة، هناك في العالم ما لا يقل عن أربعة ملايين مصاب بهذا المرض. وتشير تقديرات أمريكا الشمالية إلى رقم يراوح بين الخمسمئة ألف والمليون من المصابين، مع تشخيص نحو خمسين ألف حالة في كل سنة. ومن المتوقع أن تتضاعف هذه الأرقام بحلول عام 2040 مع تناهي أعداد المسنين في العالم. وفي الواقع، فإن مرض باركنسون والأمراض التنكسية العصبية neurodegenerative الأخرى (مثل ألزهايمر والتصلب الوحشي الضموري العضلي^(*)) في طريقها للحاق بالسرطان كسبب مؤد للموت. ولكن هذا المرض ليس بالمرض المقتصر كلياً على المسنين: إذ يضم 50 في المئة من مرضاه بعد الستين من أعمارهم، في حين يصاب به نصف عددهم الآخر قبل ذلك العمر. إضافة إلى ذلك، فإن التشخيص الأكثر جودة لهذا المرض جعل الخبراء يدركون بشكل متزايد

نظرة إجمالية/ البيروتينات ومرض باركنسون^(***)

- هو واحد من الأمراض العصبية المعقدة. ومرض باركنسون لا يمكن إبطائه أو إيقافه. أما السداس النعوجيان لمعالجته، والمنفثان في الأدوية والجراحة، فإنهما يقللان من أعراضه وحسب.
- وقد فتمت المكتشفات الحديثة حول الخلل الوظيفي للبيروتينات وحول المرتكزات الجينية لمرض باركنسون سبلاً جديدة للبحث، ويشعر الباحثون ببعض التفاؤل حول إيجاد معالجات جديدة.
- ويقتين الآن أن انحراف منظومتي الطي والطرح البيروتينيين يعد شائناً محورياً في هذا الاضطراب. وبدأت تتكشف الأسباب الجينية لهذا الإخلال في المنظومتين.

NEW MOVEMENT IN PARKINSON'S (*)
Overview: Proteins and Parkinson's (***)
Amyotrophic lateral sclerosis (1)
microRNA (1)
genetic underpinnings (2)
neurotransmitter (1)
Itaiensis (2)



القاعدية" وقشرة المخ") لم تعد تعمل كوحدة متكاملة ومتناغمة

بروتينات تسلك سلوكا سيئا

في العديد من حالات مرض باركنسون يمكن أن يشاهد التلف في الجثث بعد الموت على شكل تكتلات من البروتينات داخل العصبونات الدوبامينية الفعلة للمادة السوداء. صحيح أن مثل هذه الكتل البروتينية تميز كذلك مرض الزهايمر ومرض هنتنغتون، ولكنها في حالة مرض باركنسون تدعى أجسام ليووي (Lewy bodies، تبعا لاسم عالم التشريح المرضي الألماني الذي كان أول من اكتشفها في عام 1912، وعلى غرار الباحثين الذين يدرسون تلك الأمراض التنكسية الأخرى يناقش باحثو مرض باركنسون فيما إذا كانت التجمعات البروتينية هذه هي نفسها التي تسبب التخريب، أم أنها دفاعية تسعى جاهدة لإزالة الجزيئات السامة من العصبونات. ولكن بصرف النظر عن مواقف هؤلاء الباحثين، فإن معظمهم يوافق على أن فهم هذه التكدسات يمثل مفتاح فهم مرض باركنسون.

تحتل عمليتان خلويتان مركزا محوريا في هذه القصة البازغة وهما الطي البروتيني (protein folding) والإزالة البروتينية (protein elimination). فالخلايا تستطيع البروتينات (التي هي سلاسل من الحموض الأمينية) بالاستناد إلى معلومات مسجلة في دنا DNA الجينات. واثاء توليد البروتينات تقوم جزيئات تدعى شابرونات (chaperones بطيها بالشكل الثلاثي الأبعاد الذي يفترض فيها أن تأخذ. وكذلك تقوم هذه الشابرونات بإعادة طي البروتينات التي صارت غير مطوية (unfolded).

وإذا أخفقت منظومة الشابرونات لسبب ما، فإن البروتينات لا تتطوي بالشكل المناسب في المقام الأول، أو تصبح تلك البروتينات التي لم يفك طيها بشكل صحيح هدفا للطرش (disposal بواسطة ما يدعى «منظومة بوبيكويتين - بروتيزوم» ubiquitin-proteasome system في المقام الثاني. ففي البداية، يرتبط اليوبيكويتين (الذي

من العلماء يعتقدون أن مرض باركنسون يتولد حينما تعطل وظيفه منظومتي الشابرون واليوبيكويتين-بروتيزوم. ويفكر هؤلاء العلماء بأن سيروسة هذا المرض قد تجسري بما يشبه ذلك: بمعنى أن شكلا ما من التلف في عصبونات المادة السوداء، يطلق شلالا من الإجهادات الخلوية [انظر: «فهم مرض باركنسون»، العدد 11 (1997)، ص 24]. وتسبب هذه الإجهادات احتشادا واطرا من البروتينات السينة الطيات. ويمكن أن يكون هذا التعاطم وقائيا في البداية، لأن جميع البروتينات المرتدة تتجمع معا، بحيث يحال بينها وبين التسبب في متاعب بإمكانة

هو بروتين صغير) بالبروتين المشوه في عملية تدعى «اليوبيكويتلة» (ubiquitinylation). ويكرر هذا الاستهداف إلى أن تحيط سلاسل بوبيكويتينية ذات أطوال مختلفة بالبروتين السيئ المصير. وتصبح هذه السلاسل كفن سوت. هذا وتنبه هذه السلاسل بروتيزوم الخلية العصبية (الذي يعد منظومة طرح النفايات) إلى وجود ذلك البروتين المرخرف. فيعبد البروتيزوم بعدئذ إلى هضمه محولا إياه إلى الحموض الأمينية التي يتكون منها. وقد منع كل من «A» سنخالوفر» و«A» هرشكو» [من معهد التخنيون للتقانة] و«A» روز» [من جامعة كاليفورنيا] جائزة نوبل لعام 2004 في الكيمياء، لقاء عملهم في وصف هذه المنظومة. وفي السنوات القليلة الماضية أخذ العديد

Protein-Bearing Body (+)
basal ganglia (+)
central cortex (+)

متهمون بيئون

لقد حامت لعقود من السنين فكرة أن مرض باركنسون قد يسببه شيء ما في البيئة، ولكن البرهان على ذلك لم يأت إلا في أوائل الثمانينات من القرن الماضي حين درس «W» لانسكوتز» [من معهد باركنسون في كاليفورنيا] مجموعة من متعاطي المخدرات في منطقة خليج سان فرانسيسكو. فقد ظهرت لدى هؤلاء الفئة المدمنين أعراض باركنسونية في غضون أيام من تناولهم الهيروين الاصطناعي الأبيض الصيني. وقد تبين أن المادة المخدرة أحتوت شائبة تدعى MPTP (وهي مركب يستطيع قتل عصبونات في منطقة المادة السوداء، الدماغية). ومن خلال المعالجة استعاد بعض المدمنين المحجوبين frozen addicts (حسبما صار يُطلق عليهم) التحكم في الحركات، ولكن التأثيرات كانت لدى معظمهم غير عكوسة irreversible.

وفي السنوات اللاحقة فشل الباحثون عن مركبات أخرى تتصف بآثار مشابهة. وفي عام 2003 تم تدعيم عملهم حينما رصد المعهد الوطني لعلوم الصحة البيئية في الولايات المتحدة عشرين مليوناً من المولات لتحويل الأبحاث لتحديد ودراسة الأسباب البيئية لمرض باركنسون. واليوم، ربطت الدراسات الوبائية والحيوانية بين بعض الحالات وبين التعرض للمكثف لمبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب المسارة والمبيدات الفطرية، بما في ذلك الباراقات paraquat والمناضيب maneb. وكذلك اكتشف 7- كريناسير» [من جامعة إسوري] في



تستطيع بعض المبيدات الحشرية، بما في ذلك المبيد المستخدم بشكل رئيسي في المكافحة العنكبونية، أن تسبب حالات باركنسونية في الحيوانات

دراسات على الحيوانات أن التعرض لمادة الروفينون rotenone (وهي مبيد حشري يستخدم في المكافحة «عضوية لكور» مؤلفاً من منتجات عضوية) قادر على التسبب في تكتل بروتيني يقتل العصبونات المولدة للدوبامين ويثبط العضيات الخلوية المنتجة للطاقة ويثير اختلالات حركية.

وعطفاً يمكن أن تسبب بعض المواد مرض باركنسون، ثمة مواد أخرى يمكن أن توفر الوقاية منه. ويقبل الخبراء، اليوم أن التدخين وضرب القهوه يمكن أن يكررا إلى حد ما واقس من هذا المرض، مع أن مخاطر التدخين تتجاوز بوضوح هذه الفائدة الخاصة.

أخرى كشفت عن أن ألفا-سينوكين الطافر لا يتطوى بشكل صحيح ويتكدس داخل أجسام ليووي. وكذلك يثبط ألفا-سينوكين التبدل هذا منظومة «اليوبيكوتين-بروتيزوم» ويقاوم تدرج degradation البروتيزوم، ويضاف إلى ذلك، أنه قد أصبح من الواضح حديثاً أن استحواذ نسخ زائدة من جينة ألفا-سينوكين العادية يمكن أن يسبب مرض باركنسون.

وبعد عام واحد من اكتشاف طفرة ألفا-سينوكين، حدد في عام 1998 كل من «N» ميرنوث» [من جامعة جونينيدو] و«N» شيميزو» [من جامعة كيؤ] (في اليابان) هوية جينة ثانية (هي باركين parkin) تظهر في شكل عائلي آخر من مرض باركنسون. وأكثر ما تظهر هذه الطفرة في أفراد تم تشخيصهم بها قبل سن الأربعين، وكما كانت بداية المرض مبكرة ازداد احتمال أن يكون سبب المرض هو طفرة باركين. ومع أن الناس الذين يرثون نسخة معيبة من كلا الألوين (بمعنى أن تكون الطفرة صبغيية جسمية مثنوية autosomal recessive) يتطور لديهم المرض لا محالة، وأولئك الذين يحملون نسخة واحدة من الجينة الطافرة يكونون أيضاً على درجة كبيرة من الخطورة. ويبدو أن طفرات باركين هي أكثر شيوعاً من طفرات جينة ألفا-سينوكين، بيد أنه لا يتوفر لدينا حالياً إحصائية جيدة للوقوعات^(١).

يحتوي البروتين باركين على عدد من تتاليات حموض أمينية، أو مجالات^(٢)، تشيع في عدة بروتينات، ويميز من هذه المجالات ما يطلق عليه المجالات RING. فالبروتين المحتوي على هذه المجالات يشترك في مسار التدرج البروتيني protein degradation. وتوحي الاكتشافات الآن بأن الموت العصبوني في هذا الشكل من مرض باركنسون ينشأ جزئياً من إخفاق مكون اليوبيكوتين ubiquitinylonan التابع لمنظومة الإطراح البروتينية. إذ إن الباركين يربط اليوبيكوتين بالبروتينات السينة الطيات، وبدونه لا يحدث استهداف tagging ولا طرح disposal. وحديثاً بين بحثنا الخاص أن بروتينا (يدعى BAG5) موجوداً في أجسام ليووي يستطيع أن يرتبط بالباركين كي يثبط وظيفته ويسبب موت العصبونات

إراسموس الطبي بروتردام] طفرة في جينة تدعى DJ-1، وعلى شاكلة تلك الموجودة في باركين، تكون هذه الطفرة مسؤولة عن شكل صبغي جسدي متنح من مرض باركنسون عثر عليه في عائلات هولندية وإيطالية. وثمة باحثون شاهدوا طفرات في جينة أخرى تحمل الرمز UCHL1 في مصابين بمرض باركنسون عائلي الانتشار. وقد وصفت مجلة سينايس Science للتو طفرة في الجينة PINK1 قد تقود إلى فشل استقلابي وموت خلوي في المادة السوداء. كما أن بحثاً آخر حدد هوية جينة تدعى LRRK2 وتكوّد مسرّك الداردينس^(٣) البروتيني (بما يعني «الرجفة» في منطقة الباسك التي أتت منها المرض). وتضطلع

المولدة للدوبامين.

ومن اللافت أن بعض المرضى بطفرات باركين يفقدون أجسام ليووي في عصبوناتهم السوداء. وتوحي هذه الملاحظة بأن البروتينات قد لا تشكل كداسات aggregates ما لم تكن عملية اليوبيكوتيلة سليمة العمل. كما أنها توحي بأنه حين لا تتجمع البروتينات الضارة بعضها مع بعض داخل أجسام ليووي فإنها تسبب تحريماً خلوياً، ولما كان المرض بطفرات باركين يظهر لديهم المرض في مرحلة مبكرة من حياتهم، فإنه يبدو من المحتمل أنهم يفقدون بعض الحماية الأولية التي يمنحها امتلاك بروتينات سامة في تجمعات متكتلة.

هذا وتبرز بضعة اكتشافات أخرى حديثة مفسدات أخرى محرضة جينياً في الآلية الخلوية. ففي عام 2002، حدد «V» بوتيفاتي» وزملاؤه [في مركز

Environmental Health
Perspectives (١)
Science (٢)
Lancet (٣)

العلاجات الحالية^(١)

يتيح الأطباء، مطربين أساسيين في معالجة مرض باركنسون، ككتاشا توفران فوائد مذهشة، ولكنها تتصف بأن تلك العلاجات تجعل المرضى والباحثين على سواء يتجهون إلى استراتيجيات جديدة في المعالجة.

الأدوية

تضم العلاجات الرئيسية أدوية تحاكي للدوبامين ومركبات تستخدم في صناعة الدوبامين في الدماغ (مثل مركب ليفودوبا levodopa) وأدوية تثبط تشكك الدوبامين. وتستخدم أدوية أخرى تعمل فعلياً في بعض المنطويات غير الدوبامينية التي تتأثر بمرض باركنسون، بما في ذلك المنطويات التي يديرها الناقلان العصبيان المعروفان باسم الأسيتيلكولين والكورتاتامات. وهذه الأدوية تعيد النماذج الأولية لهذا المرض، ولكن استخدامها المتواصل يمكن أن يصعب إشكالياً، ويذكر من تأثيراتها الضارة الطويلة الأمد مثل صعوبة التقييدات غير المتما بها بين هزات الوطيفة المتكررة المعينة وفقرات التجميد freezing وكذلك الرعاش tremor والفضيلد rigidity. يضاف إلى ذلك أن بعض الأدوية يمكن أن تسبب حركات لا إرادية (يطلق عليها بحركات الحركات dyskinesia) وتزيد بشكل خاص لدى المرضى الشباب وتكون مقلعة إلى حد كبير.

تشبيه أعماق الدماغ

مع بداية القرن الماضي، اكتشف الباحثون أن إنزاف عدد صغير من الخلايا في المسارات المحركة الدماغية يمكن أن يقلل من الرعاشات الباركنسونية. ومع أن هذا الإجراء غالباً ما يسبب ضعفاً عضلياً، فإن المرضى كانوا يفضلون ذلك على الارتعاش. وبعد عشر في عام 1980، عمد الجراحون إلى إيداء العقد القاعدية فلاحظوا مزيداً من التحسين للمرضى لدى المرضى بمرض باركنسون. وبدأ أن إزالة الخلايا التي تتسبب بمرض السلوك (أي تلك الخلايا ذات الاضطراب

السيئ أو الاضطراب المفرط) أصبحت لتبقى الدماغ أن يعمل بشكل سوي. ولكن لسوء الحظ لم يكن إحداث هذه الأليات عملاً مثالياً، فإذا لم تتوضع الأليات بالشكل المضبوط، أو إذا شملت كلا الجانبين من الدماغ، فإنها قد تسبب تشنجا شديداً يرهق الكلام ويغشي إلى عسكسات معرفية cognitive problems. وفي السبعينات من القرن الماضي، اكتشف الباحثون أن تشبيه الكهربائي العالي التواتر لأجزاء من الدماغ يمكن أن



يحاكي الأليات بدون أن تسبب تأثيرات جانبية. وتستخدم اليوم أشكال مختلفة من تشبيه أعماق الدماغ في اضطرابات عصبية عديدة^(٢). إذ يوضع القثرون في إحدى الحشيتين القاعديتين مرضى باركنسون (وذلك في الكرة الشاحية أو الفؤاد تحت الهادية) ويوصل بجهاز مولد للضربات معزوس في صدر المريض (أسفل الصورة). ويسلها تيمت الثلاثة pacemaker بنشاط كهربائية (90 ميكروثانية وثلاثة ثلثات) يصل بعدها إلى 185 نبضة في الثانية، مع العلم بأن هذه الثلاثة تتطلب الاستبدال كل خمس سنوات.

لقد ذكر رالف هذا التقنية (وهما ٨٠٠ من غايه، ٢٠٠٠ بولاه) (من جامعة كروويل بفرنسا) أن مثل هذا التشبيه يقلل إلى حد كبير للاعتماد الزعاش والتصلب. وفي الواقع، أصبحت هذه التقنية في العقد الثمان دعامة أساسية في المعالجة وخضع ما يقدر بثلاثين ألفاً من المرضى لهذه الجراحة. وقد تمكن بعضهم من أن يقلل جرعات الأدوية التي يتناولونها بينما توقف البعض الآخر كلية عن تناولها. ولكن في الوقت نفسه، لا يمكن تشبيه أعماق الدماغ أن يمنع المرض من التقدم، كما لا يمكنه تفريغ أن تنشأ عن هذا المرض.

وعلى الرغم من نجاح تشبيه أعماق الدماغ، تظل هناك أسئلة عديدة. فمن جهة أولى، ليس واضحاً ما إذا كان الجسم الشاحب globus pallidus أو الفؤاد تحت المهام subthalamic nucleus هذا أفضل. يضاف إلى ذلك أن الأليات الكهربائية والكيميائية التي تحسن بوساقتها الطاقة الكهربائية مرضى باركنسون تبقى بحاجة إلى التعديل، مع العلم بأن الكثير من الأليات لا تزال متطابقة. سيقر المآل. أعاد الباحثون أن يفكروا بأن تشبيه أعماق الدماغ يعمل بنفس الأسلوب الذي تذيبه تقنية إحداث الأليات، ولكن غير تعطيل الخلايا. ولكن هؤلاء الباحثين اكتشفوا مؤخرًا أن هذه العملية قد تسبب اضطراباً firing أسرع للنفقات العصبية impulse.

التنكس لدى البشر، أو إيجاد علاج جيني يطلق إنتاج الشابيرونات المطلوبة، يضاف إلى ذلك، أن الباحثين وجدوا أن زيادة كمية بروتين باركين الاعتيادية في الخلايا تقيها من التنكس العصبي الناجم عن البيرونيات الضارة ذات الطي السيئ. ولكننا سنحتاج إلى المزيد من الدراسات لتقرير ما إذا كانت مثل هذه المداخلات يمكن جعلها تصلح للبشر. وإضافة إلى متابعة الدلالات الأولى التي برزت من المكتشفات الجينية والمرتبطة

تلفيف الأعراض، بمعنى أنها تحد بالفعل من التنكس العصبي neuronal degeneration المسؤول عن تقدم المرض. لقد أثرت هذه الاستراتيجيات نتيجتين مثريتين للاهتمام، فقد وجد أن زيادة مستويات الشابيرونات في خلايا المادة السوداء تقي من شروع التنكس العصبي بواسطة ألفاسينوكلين الطافر في الحيوان. وأظهرت دراسات حديثة باستخدام نماذج ذبابة الفاكهة لمرض باركنسون أن العقاقير التي تثير نشاط الشابيرون يمكن أن تمنح وقاية من السمية العصبية neurotoxicity. وربما يمكن ذات يوم تطوير عقاقير شابيرونية النمط تحد من

هذه الجينة كذلك بالاستقلاب (الأيض) metabolism وتظهر في مرضى باركنسون العائلي، بيد أن الباحثين لم يقطعوا شروطاً طويلاً في فهم دقيق للأخطاء التي تسببها جميع هذه الطفرات.

سبل جديدة للمعالجة^(٣)

لما كانت التبعصرات التي وضعناها للتو تتضمن جزينات يمكن تغيير نشاطها بشكل فعال أو محاكاتها بالأدوية بطرق تحد من الموت الخلوي، فإن هذه الاكتشافات يمكن أن تقود إلى علاجات تفعل ما هو أكثر من

Current Therapies for
New Approaches for Treatment (٢٠٠١)
"Stimulating the Brain" by Mark S. Georg, (١١)
[Scientific American, September 2003]

بالبروتين الجديد، بدأ الباحثون يدخلون العوامل النممية العصبية neurotrophic factors، وهي مركبات تتركز النماء والتمايز العصبي في الدماغ. فهذه العوامل لا تكفي بتخفيف الأعراض، بل تتعهد أيضا بحماية العصبونات من التلف أو حتى باسترجاع العصبونات التي سبق أن تلتفت

فعلى سبيل المثال، يوحي أحد اتجاهات البحث في الحيوانات أن عائلة من البروتينات تدعى العوامل النممية المشتقة من خط الخلايا الدبقية (GDNF) تستطيع تعزيز بقاء survival العصبونات الدوبامينية المتضررة، كما تقلل بشكل مثير الأعراض الباركنسونية. وقد شرع «ك. كيل» وزملاؤه [في مستشفى فرتشاي في برستول بانكلترا] في دراسة رائدة لإعطاء المصابين بالباركنسون العوامل GDNF، وهنا يغرز

مقنعة: فالمرضى الذين تلقوا محلولاً مليحاً (فيزيولوجيا) لم يحرزوا نجاحاً أفضل من المرضى الذين تلقوا العوامل GDNF. ولكن العديد منا (ممن يعملون في هذا المجال) يشعرون بأن هذه المقاربة لا تزال تستحق المتابعة. فليس من غير العادي في الطب أن تكون المحاولات الأولى في المعالجة سلبية النتائج؛ ذلك أن مركب ليفودوبا levodopa على سبيل المثال لم يظهر في البداية أية فائدة، بل أظهر تأثيرات جانبية غير مرغوب بها، في حين أنه يعتبر اليوم واحداً من العلاجات الرئيسية لمرض باركنسون.

وثمة باحثون آخرون يستخدمون العلاج الجيني بدلا من الجراحة لإعطاء العوامل GDNF للمريض أملين أن تزود الجينة المنقولة المريض بإمدادات طويلة الأمد من هذا العامل النممي العصبي. وقد هتس «ل. كوردوفر»

وهناك أشكال أخرى من العلاج يجري حاليا بحثها. فقد أوضح «ك. باتكوفيتز» [الذي يعمل مع أفليكس بالقرب من سان فرانسيسكو على الحيوانات] أن الجينة المسؤولة عن إنزيم يدعى نازع كاربوكسيل الحموض الأمينية العطرية، إذا ما وُضعت (هذه الجينة) في الجسم المخطط من الدماغ تستطيع تحسين إنتاج الدوبامين فيه. وكذلك حسنت هذه المقاربة أعراض باركنسون لدى الجرذان والنسائيس. أما التجريب على المرضى من البشر فقد حظي بالموافقة وسيشرع به عما قريب.

يتخذ «م. كابليت» [من جامعة كورنيل] وفريقه مسارا مغايرا يستعمل فيه العلاج الجيني لإغلاق بعض المناطق الدماغية التي تغدو مقرطة النشاط حينما يشح الدوبامين المتحرر من المادة السوداء، وتتضمن هذه

قد يمكن مستقبلا تطوير أدوية شايرونية النمط لتحد من التنكس لدى البشر.

الجراحون قشطارا داخل الجسمين المخططين striatum الأيمن والأيسر اللذين يعتبران النلقين الرئيسيين في العقد القاعدية basal ganglia للدوبامين الذي تفرزه عصبونات المادة السوداء. وبعد ذلك تبدأ كميات زهيدة من العوامل GDNF بالتسرب بشكل مستمر في الدماغ وذلك حقنا من مضخة موضوعة داخل البطن. وتحفظ هذه المضخة بكميات من العوامل GDNF تكفي لمدة شهر، ويمكن تعويض ما فقدته في زيارة إلى عيادة الطبيب، وذلك عبر استخدام حقنة syringe تخترق الجلد وتعيد ملء المضخة.

لقد أوجت النتائج الأولية على عدد من المرضى بأن الأعراض لديهم قد تحسنت، وأشارت مسوحات التصوير الطبقي بالإصدار البوزيتروني PET إلى بعض الإصلاح لقيط uptake الدوبامين في الجسم المخطط والمادة السوداء. ولكن نتائج تجارب أكثر حداثة وأكبر حجما لم تكن

المناطق النواة تحت المهادية subthalamic nucleus والعقد القاعدية، [إن فقدان الدوبامين يجعل العصبونات التي تصنع الكولوماتات glutamate (وهو ناقل عصبي استثاري) تعمل بشكل طليق، ومن ثم فإنها تتبالغ في تنبيه أهدافها فتسبب بذلك اضطرابات في الحركة]. وسيبدأ «كابليت» تجارب على الإنسان تستخدم فيروسا لإيصال الجينة المسؤولة عن الإنزيم النازع لكاربوكسيل حمض كوتاميك⁽¹⁾ الذي يعد ضروريا لتوليد الناقل العصبي المثبط المسمى غاما أمينو حمض بيتوتريك (أو كسابا GABA) إلى داخل هذه المواقع، ويأمل «كابليت» ومعاونوه أن يخمد الحمض الكاباوي المذكور الخلايا المقرطة الاستثارة فيهدئ بذلك اضطرابات الحركة الباركنسونية. ففي هذه التجارب يخططون أنبؤيا ذا قطر يقارب الشعرة عبر فتحة بقياس

[من مركز لوك الطبي في شيكاغو] وزملاؤه فيروسا عدسيا lentivirus لنقل الجينة المسؤولة عن العوامل GDNF إلى خلايا الجسم المخطط المولدة للدوبامين في أربعة نسائيس مصابة بالباركنسون فكانت النتائج مذهلة: إذ تضائلت متاعب النسائيس الحركية إلى حد كبير، كما لم تتأثر بالحقن اللاحق للمركب MPTP، الذي هو مُسمم كيميائي للعصبونات الدوبامينية في المادة السوداء، فالجينة المُخلّعة حُرست الخلايا على صنع البروتين مدة تصل إلى ستة أشهر ثم بعدها إيقاف التجارب. وبالاغتماد على هذه الدراسات يقوم علماء في سانديكو باستخدام تقنية مشابهة من أجل إيصال البروتين المسمى نيورتورين⁽²⁾ neuritin الذي يعد واحداً من عائلة العوامل GDNF. ومع أن هذه الدراسات لا تزال في الطور قبل السريري، فإن الباحثين يخططون لاختبار جينة مشابهة للجينة المسؤولة عن النيورتورين، في المصابين من البشر بهذا الداء.

(1) glutamate decarboxylase (GAD65)

(2) neurotrophin-4 (NT-4)
glutamate decarboxylase (GAD65)

البيروتيينات ومرض ياركفسون^(١)

منذ عقود، عرفت تكسيدات البروتينات معطوفة الطي (تسمى أجسام ليوبي) تملك سعة مسيطرة لمرض باركنسون. وبما زال العلماء لا يعرفون ما إذا كانت هذه التكسيدات البروتينية ذات طبيعة وظيفية، لأنها تشبه البروتينات السامة.

المعنى البروتيني في الطفلا المصرية

في الخلايا السليمة تضمن
معدلات تدعى الشابيرونات أن
تتطوى البروتينات بشكل صحيح
(في الأعلى) فحينما لا تتطوى
البروتينات بشكل صحيح (0) أو
إذا سبب نوع من الإجهاد للخلية
اتخاذ البروتينات ذات الطي
السيئ شكلا مغلوطا فإن
الشابيرونات تقوم بإعادة طي
لك البروتينات

إِذَا أَحْفَقَ الْبُرُوتَيْنِ فِي
أَنْ يَقْطُوعِي بِشَكْلٍ صَحِيحٍ

بروتين ذو طلي صحيح

b إذا انكط على البروتين

انكطاك الجلي
البروتيني
نتيجة الجهاد

بروتين ذو طلي صحيح

إذا تواصل إختناق الميراثين
في أن يتحول بشكل صحيح

پارکچہ
بوسنگر وادی

ولكن إذا لم تعمل المنظومة الشايفيوتية هذه، وبقي بروتين *م* مغطيا بشكل غير صحيح (c)، فإن بروتينوزوم الخلية (وهو منظومة طرح القمامة) يستطيع إزالة قبل أن يسبب الأذى. ففي البداية يربط البروتين المسمى *باركين* جزيئات *الديوبيكويتين* بالبروتين المغطى، ثم يوغز *الديوبيكويتين* إلى *البروتينوزوم* (أو يفتت البروتينات إلى العضى الانسيابية المكونة والتي يمكن الاستفادة منها في جبة أخرى داخل الخلية).

Problems and Parkinson's (x)

ربيع الدولار المعدني في أعالي جسر
ريض. وهنا يقوم الأنبوب بإصال جرعة من
الفيروس تقوم بدورها بنقل نسخ من الجينة
إلى داخل عصبونات النواة تحت الهادية.
وينبغي أن لا تتكيف المادة الكيميائية المتحررة
بتهذئة العصبونات المضطربة النشاط والتي
تستقر في تلك المنطقة، بل يمكن أن تنتشر
إلى مناطق دماغية أخرى مقرطة للنشاط.

وبما تستلزم هذه المعالجة الممكنة التي تعرضت لنقاشات حامية، اغتراس خلايا تحمل محل الخلايا التي ماتت، وكانت الفكرة غرس خلايا جنينية جذعية embryonic stem cells أو خلايا جذعية كهلة لاستمالة هذه بالخلايا غير المتمايزة كي تصبح عصبونات مولدة للدوبامين. ولما كانت الخلايا الجذعية الجنينية مأخوذة من أجنة أعمارها أياما وتخلقت أثناء الإلقاح في المختبر، فإن استخدامها أمر كبير الخلاف، صحيح أن هناك أسئلة أخلاقية قليلة تكثف استخدام الخلايا الجذعية الكهلة المأخوذة من أنسجة البالغين، بيد أن بعض العلماء يعتقدون أن العمل على هذه الخلايا أكثر صعوبة من الخلايا الجذعية الأخرى.

وعلى الرغم من التثقيف المهم في تحديد الإيماءات " الجزيئية والوصفات الإجرائية لوضع الخلايا غير التمايزة إلى توليد النوبامين، فما من أحد يعرف ما إذا كان أي نوع من الاغتراس transplantation سيكون استراتيجية مثمرة بالفكر الذي كان مأمولا . وقد أجريت تجارب سريرية على المادة الجنينية تستخدم البرونكولات الأكثر دالة. وأظهرت هذه التجارب مئات الآلاف من الخلايا المغترسة المولدة للنوبامين والبقائية على قيد الحياة في المرضى، بيد أن الفوائد الوظيفية كانت على أحسن تقدير متواضعة وغير متساوقة منطقيا، كما رافقت المعالجة تأثيرات عكسية خطيرة تتضمن عسر الحركة (حركات لي ولف غير متقنة). ويحاول العلماء حاليا أن يحددوا لماذا لم يكن الاغتراس معينا أكثر ولماذا نشأت تأثيرات جانبية، ولكنهم لم يصبوا حتى الآن تجارب بشرية في هذا

عن التحلل الإشعاعي لاختلاف النظائر في هذه الصخور القديمة تعتمد على الثابت α . ويعتبر تحلل بيتا، أي تحول الرينيوم $rhenium$ إلى أوزميوم $osmium$ ، التقيد الأكثر حساسية. وطبقا لأبحاث حديثة أجراها «K» أوليف- [من جامعة مينيسوتا] و«B» بوسيلوف- [من جامعة فيكتوريا في كولومبيا البريطانية] وزملاؤهما، فإن قيمة α كانت حين تكونت الصخور، في حدود جزأين من 10^4 من قيمتها الحالية. وهذه النتيجة أقل دقة من نتائج «أوكلو» ولكنها أقدم كثيرا، إذ تعود إلى نشأة المجموعة الشمسية قبل 4.6 بليون سنة.

ويجب على الباحثين لسير التغيرات الممكنة عبر فترات زمنية أطول من ذلك أن يهتموا بمراقبة السماوات، فالضوء يستغرق بلايين السنين حتى يصل من مصادر فلكية بعيدة إلى مرآصدنا لأنه يحمل صورة لحظية (لقطة) للقوانين والثوابت الفيزيائية حينما بدأ رحلته أو عندما لاقى مادة أثناء الرحلة.

دخل علم الفلك إلى قصة الثوابت فور اكتشاف الكوازارات عام 1965. كانت الفكرة بسيطة: فقد تم تعرف الكوازارات المكتشفة توأ باعتبارها مصادر ضوئية لامعة تتوضع عند مسافة هائلة من الأرض. ونظرا لأن مسار الضوء من الكوازار إلى الأرض طويل جدا، فإنه لامناص من تقاطعه مع الضواحي الغازية للمجرات الفنية. يمتص ذلك الغاز ضوء الكوازار عند ترددات معينة، طابعا بذلك «باركود» barcode من خطوط متقاربة على الطيف المسجل للكوازار (انظر الإطار في الصفحة 36).

ولكننا امتص الغاز الضوء قسرت

Nuclear Reactions (v)
Overview / Constants of Physics (**)
[11] (انظر): "Natural Fusion Reactions", by George A. Cowan, July 1978, Scientific American.
[12] (انظر): "Isotopes of Uranium", by George A. Cowan, July 1978, Scientific American.
[13] (انظر): "Isotopes of Uranium", by George A. Cowan, July 1978, Scientific American.

(B) الكوازار Overview. جرم شبه نجمي، يبدو في أفضل المراسد، كمنبع ضوئي نظمي شظي جدا، كأي نجم، لكنه يقع على حافة الكون وهو بخلاف النجوم، يصدر موجات راديوية. ومن هنا أتت التسمية: وقد تم اكتشافه عام 1965. ويبدو أن هناك العديد من الكوازارات في الكون. ورغم أن حجمه أصغر من حجم مجرتنا الشمسية، فإن الطاقة المنبعثة منه أكبر بألاف المرات من الطاقة الناتجة من كامل درب التبانة. ويعتقد معظم الفلكيين بوجود ثقب أسود (كثلك أكبر بمقدار 10^9 من كتلة شمسنا) في مركز كل جرم شبه نجمي.

وقد يبدو هذا الأمر تأكيدا مثيرا على حدوث الثبات. لكن سنوات ثلاثا ليست سوى لحظة في عمر الكون. ومن الممكن أن تحدث تغيرات بطيئة ولكن جوهرية أثناء التاريخ الكوني الطويل دون أن يلفت إليها.

ولحسن الحظ، وجد الفيزيائيون اختبارات أخرى. فخلال سبعينات القرن العشرين، لاحظ علماء من لجنة الطاقة الذرية الفرنسية شيئا غريبا يتعلق بالتركيب النظائري لخام من منجم يورانيوم في «أوكلو» Oklo بالغابون في غرب أفريقيا، يشبه نتائج فضلات مفاعل نووي. لا بد أن «أوكلو» كان منذ نحو بليون عام، موقعا لمفاعل طبيعي^(*).

لقد لاحظ «A» شلايختر- [من معهد الفيزياء النووية في سانت بطرسبرغ بروسيا] في عام 1976 أن قدرة المفاعل الطبيعي على العمل تعتمد بصورة حاسمة على الطاقة المضبوطة لحالة خاصة من تواء السغاريوم^(**) تسهل أسر capture النيوترونات. وتعتمد هذه الطاقة بدورها بحساسية عالية على قيمة الثابت α . ومن ثم فالنظام المتسلسل لا يمكن أن يحدث إذا ما اختلعت، ولو قليلا، قيمة ثابت البنية الدقيقة. لكن تفاعلا قد حدث، مما يعني أن الثابت لم يتغير بأكثر من جزء واحد من 10^4 طوال البليون سنة الماضية (يوصل الفيزيائيون مناقشة النتائج الكمية الصحيحة بسبب حالات الارتياح الحتمية حول الظروف داخل المفاعل الطبيعي).

بدأ «B» بيلز- [«K» دايك] [من جامعة برنستون] في عام 1962 بتطبيق مبادئ مماثلة على النيازك^(***). ذلك أن نسب الوفرة الناشئة

قيمة الثابت α أكبر من اللازم فإن الأنوية الذرية الصغيرة لا يمكن أن توجد لأن التناظر الكهربائي لبروتوناتها سوف يغلب القوة النووية الشديدة التي تربط هذه البروتونات معا. وقيمة كبيرة في حدود 0.1 سوف تنسف الكربون إلى أجزاء.

إن التفاعلات النووية في النجوم حساسة للثابت α بصورة خاصة. ويلزم لحدوث الاندماج أن تنتج ثقالة النجم درجات حرارة عالية بما يكفي لدفع الأنوية نحو بعضها بقوة على الرغم من ميلها إلى التناذب عن بعضها بعضا. وإذا زادت قيمة α على 0.1 فإن الاندماج سيكون مستحيلا (ما لم يُضبط التوازن بعوامل أخرى مثل النسبة بين كتلتي الإلكترون والبروتون). ومجرد حدوث انزياح قدره 4 في المئة في قيمة الثابت α من شأنه أن يغير مستويات الطاقة في نواة الكربون إلى حد إيقاف إنتاج هذا العنصر بوساطة النجوم.

التكاثر النووي^(*)

والمشكلة التجريبية الثانية، الأكثر صعوبة، مؤداها أن قياس التغيرات الحادثة في الثوابت يتطلب أجهزة عالية الدقة تبقى مستقرة مدة طويلة كافية لتسجيل أي تغيرات. فحتى الساعات الذرية لا يمكنها أن تكشف حدوث انحرافات في قيمة ثابت البنية الدقيقة إلا على مدى أيام، أو سنوات على الأكثر. فإذا تغيرت قيمة الثابت α بأكثر من أربعة أجزاء في 10^{15} على مدى ثلاث سنوات، فإن أفضل الساعات ستسجلها. لكن لم يتم إحراز أي شيء في هذا الشأن.

نظرة إجمالية / ثوابت علم الفيزياء^(***)

- تخزن معادلات الفيزياء بكميات مثل سرعة الضوء. ويفترض الفيزيائيون بصورة روتينية أن هذه الكميات ثابتة: أي إنها تأخذ نفس القيم دائما في كل مكان وزمان.
- على مدى السنوات الست الماضية تساءل المؤلفان ومعاونوهما عن صحة ذلك الفرض، وحاولوا من مقارنة أوصاف الكوازارات^(*) بالبيانات المرجعية المختبرية - أن يبرهنوا على أن العناصر الكيميائية التي وجدت في الماضي البعيد امتصت الضوء بطريقة مختلفة عما نعلمه العاصر لمعها اليوم. ويمكن تفسير هذا الاختلاف استنادا إلى تغير في أحد الثوابت، هو المعروف بثابت البنية الدقيقة، ببضعة أجزاء لكل مليون جزء.
- هذا التغير، إذا ما تم تأكيده، على الرغم من أنه يبدو ضئيلا، سوف يكون إنجازا ثوريا، لأنه سوف يعني أن الثوابت التي تم رصدها ليست عالمية شاملة، ويمكن أن تكون (إشارة إلى أبعاد إضافية للمكان (الفضاء)).

الصدء في الولايات المتحدة.

وأخيراً، يواصل الباحثون استقصاء وتشذيب المقاربة بوساطة تنبيه أعماق الدماغ: أي بتطبيق نبضات كهربائية، وقد ذكر «S. بالفي» وزملاؤه [في طاقم مستشفى فريدريك جوليو في أورسي بفرنسا] أن التنبيه اللطيف لسطح الدماغ يمكن أن يحسن أعراض مرض باركنسون في نسانيس الرياح المصابة بشكل من أشكال عرض باركنسون، وهناك تجارب سريرية تشق طريقها في فرنسا ودول أخرى لتحديد ما إذا كانت هذه المداخل الجراحية تصع بالدرجة نفسها من الفعالية في البشر.

ومع أن بقاء الكثير مجهولاً حول مرض باركنسون، فإن التبصرات الجينية والخلوية التي رأت النور في السنوات القليلة الماضية وحدها تعتبر مشجعة للغاية، فهي تبعث أملاً جديداً لمعالجات تُضاف إلى المعالجة الراحنة كي تبطن تقدم المرض وتحسن التحكم في هذا الاضطراب المزعج.

المؤلفان

Andres M. Lozano - Sunil K. Kalia

عملاً معاً بضع سنين، درسا اثناها نواحي مختلفة من مرض باركنسون، لوزانو، الذي ولد في إسبانيا وحصل على الدكتوراه في الطب من جامعة أوتاوا، هو استاذ الجراحة العصبية الوظيفية والستيريوتكتيكية في جامعة تورنتو. وقد كرس أبحاثه لفهم أسباب مرض باركنسون ولتطوير معالجات جراحية مبتكرة. أما كاليا، فقد حصل حديثاً على الدكتوراه حيث تركز بحثه على دور جزيئات الشابيرون في مرض باركنسون.

مراجع للاستزادة

Parkinson's Disease, Parts 1 and 2. A. E. Lang and A. M. Lozano in *New England Journal of Medicine*, Vol. 339, pages 1044-1053 and pages 1130-1143; October 8 and October 15, 1998.

Genetic Clues to the Pathogenesis of Parkinson's Disease. Miguel Vila and Serge Przedborski in *Nature Medicine*, Vol. 10, pages S58-S62; July 2004.

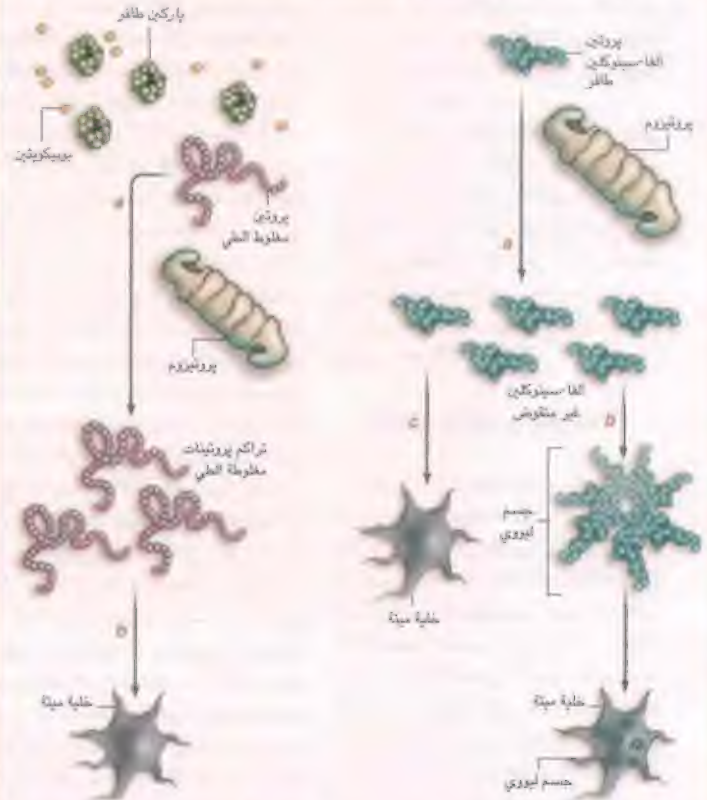
Neurodegenerative Diseases: A Decade of Discoveries Paves the Way for Therapeutic Breakthroughs. Mark S. Forman, John D. Trojanowski and Virginia M-Y Lee in *Nature Medicine*, Vol. 10, pages 1055-1063; 2004.

Scientific American, July 2005

الإصابة أو أنها في نهاية المطاف تؤذي سموت الخلايا العصبية. وفي جميع الأحوال، فإن من الواضح أن بروتينات منحرفة السلوك تسبب هذا المرض المدمر.

١- الذي يجري خطأ في مرض باركنسون

لأسباب غير معروفة تماماً، تخفق المنظومة الشابيرونية والبروتينومية لدى الناس الذين يصبحون مرضى بـباركنسون، إذ تتراكم بروتينات مغلطمة الطلي في الخلايا لأن الشابيرونات لا تستطيع المراقبة أو لأن المنظومة البروتينومية لا تستطيع تفكيك البروتينات الضالة بالسرعة الكافية. فهذا التراكم يقوى على إتلاف العصبيونات المصابة وقتلها. وتوخي دراسات جينية حديثة بأن الأشكال الطافرة لثنتين من البروتينات، هما: ألفاسينوكلين (في اليمين) وباركين (في اليسار)، قد تقيد في تحديد المنظومة الشابيرونية ومنظومة الطرح البروتيني.



وفي حالة الباركين، تخفق النسخ الطافرة في إضافة اليوبيكويتين إلى البروتينات المغلطمة الطلي، ونتيجة لذلك لا يستطيع البروتينوزوم تفكيك البروتينات (a في الأعلى)، الأمر الذي يسبب الموت أخيراً (b). ونشير إلى أن الباركين الطافر لا يسبب تكوين أجسام ليوي

شاة طفرة نادرة جداً في جينة ألفاسينوكلين تستطيع أن تسبب مرض باركنسون عبر توليدها شكلاً من البروتين يقاوم التفكيك من قبل البروتينوزومات (a في الأعلى). وفي إشارة إلى أن أجسام ليوي يمكن أن تكون في بعض الأحيان واقية، يبدو أن مجموعات من (ألفاسينوكلين) الطافرة التي تنتهي في جسم ليوي (b) قد تكون أقل إلحاقاً في البداية من نسخ copies البروتين التي تجول في الخلية العصبية مسببة حثها (السريع) (c).

ثوابت فيزيائية متغيرة^(١)

هل تتغير مع الزمن الكيفية التي تعمل بها الطبيعة داخليا؟

(J. D. بارو) - < J. D. بارو >

قوى الطبيعة المختلفة، ويستحيل فيه وجود جسيمات مثل الإلكترونات أو بنية مثل ذرات الكربون أو جزيئات الفضا DNA. وإذا حاولت المغامرة بدخول ذلك العالم الخارجي، فإنك سوف توقف كينوتك.

وهكذا نجد أن نظرية الأوتار تعطي باليد اليمنى وتأخذ باليسرى، إذ إنه تم استنباطها جزئيا لتفسير القيم الاختيارية arbitrary للثوابت الفيزيائية، في حين تحتوي معادلاتها الأساسية على بضعة وسطاء (معاملات) اختيارية، وحتى الآن لم تستطع نظرية الأوتار أن تقدم تفسيراً لقيم الثوابت المقاسة (المرصودة).

مسطرة يمكنك أن تثق بها^(٢)

يمكن أن تكون كلمة «ثابت» في حقيقة الأمر تسمية مغلوطة، فالثوابت التي نعرفها يمكن أن تتغير في كل من الزمان والمكان. ولو تغيرت الأبعاد الإضافية للمكان في الحجم، فإن «الثوابت» في عالمنا الثلاثي الأبعاد سوف تتغير معها. وإذا ما نظرنا بعيداً بصورة كافية في الفضاء، فربما نجد باكتشاف مناطق تكون «الثوابت» فيها استقرت واتخذت قيماً مختلفة. ولقد خمن الباحثون منذ ثلاثينات القرن العشرين أن الثوابت يمكن أن تكون غير ثابتة. وتُسبغ نظرية الأوتار على هذه الفكرة معقولة نظرية وتجعلها الأكثر أهمية من كل ما عداها.

من أربعة أبعاد للفضاء (المكان) والزمان، فتزيد إلى سبعة أو أكثر، ويقضي أحد التضمينات بأن الثوابت التي نرصدها يمكن في الواقع ألا تكون حقاً ثوابت أساسية. إنها توجد في الفضاء، ذي الأوج البعدي، ونحن لا نرى سوى «ظلالها» الثلاثية الأبعاد فقط. في غضون ذلك بدأ الفيزيائيون يدركون أيضاً أن قيم العديد من الثوابت الفيزيائية ربما تكون مجرد نتيجة لطرف عرضي في فترة ميكروية من التاريخ الكوني خلال أحداث عشوائية وسيرورات الجسيمات الأولية. والواقع أن نظرية الأوتار تسمح بوجود عدد هائل (10^{500}) من «العوالم» الممكنة لها مجموعات من القوانين والثوابت المتساوية ذاتياً والمختلفة فيما بينها^(٣). وحتى الآن، ليس لدى الباحثين أي فكرة عن سبب اختيارنا لهذه التوافقية، والدراسة المستمرة يمكن أن تختزل عدد العوالم الممكنة إلى عالم واحد لكن يجب علينا أن نظل مهيبين لتقبل احتمالية مثيرة للأعصاب مؤداها أن كوننا المعروف ليس إلا واحداً من أكوام عديدة - أي إنه جزء من كون مضاعف متعدد الأجزاء (العوالم) multiverse - وأن الأجزاء المختلفة من الكون المتعدد تبدي حلولاً مختلفة للنظرية. وليست قوانين الطبيعة التي نرصدها إلا مجرد نسخة واحدة من منظومات عديدة للقوانين الداخلية المحلية [انظر: «أكوام متكافئة»، **العلوم**، العددان 12/11 (2003)، ص 4].

لا يمكن إذاً أن يكون هناك تفسير إضافي للعديد من ثوابتنا العددية إلا كونها تشكل توافقاً نادراً يسمح بتطور الوعي. ويمكن أن يكون عالمنا المشاهد واحدة من واحات عديدة منعزلة محاطة بفضاء لانهاضي غير مأهول - أي مكان سرالي^(٤) تتحكم فيه

بعض الكميات لا تتغير أبداً، ويسمى الفيزيائيون «ثوابت الطبيعة». ومثل هذه الكميات الفيزيائية الثابتة، كسرعة الضوء (c) وثابت الثقالة لنوتون (G) وكتلة الإلكترون (m_e)، يفترض ثباتها في كل زمان ومكان في الكون، فهي بمنزلة سقالات البناء scaffolding التي تقام حولها نظريات الفيزياء، وتحدد بنية الكون الذي نعيش فيه. ولقد تقدم علم الفيزياء بفضل النجاح المطرد في إحراز قياسات أكثر دقة لقيم هذه الثوابت.

وعلى الرغم من ذلك فالملاحظ أن أحداً لم يوفق بعد في التنبؤ بأي من هذه الثوابت أو تفسيرها. فالفيزيائيون لا يعرفون سبباً لاتخاذ هذه الثوابت قيماً عديدة معينة؛ حيث نجد في النظام الدولي للوحدات SI units (أن مقدار c هو $299\,792\,458 \times 10^3 \text{ m/s}$ و G هو $6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$ و m_e هو $9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، وهي أعداد لا تتبع نمطاً يمكن إدراكه أو تمييزه، والخطط الوحيد الذي يربط بين هذه القيم هو أنه إذا كان عدد منها مختلفاً ولو قليلاً لما أمكن وجود بنية ذرية معقدة، كما هي الحال في الكائنات الحية. وكانت الرغبة في تفسير الثوابت الفيزيائية إحدى القوى الدافعة وراء الجهود المبذولة لتطوير نظرية موحدة وكاملة لوصف الطبيعة أو «نظرية كل شيء»^(٥). وقد أمل الفيزيائيون أن توضح مثل هذه النظرية أن أيّاً من ثوابت الطبيعة يمكن أن تكون له فقط قيمة واحدة ممكنة منطقياً، وهذا من شأنه أن يكشف عن ترتيب أساسي لما يبدو في الطبيعة من عشوائية.

إن حالة الثوابت الفيزيائية صارت في السنوات الأخيرة أكثر تشويشاً. فقد وجد الباحثون أن أفضل نظرية مرشحة لكل شيء، وهي نظرية الأوتار المسماة «النظرية M» تكون متسقة ذاتياً فقط إذا كان للكون أكثر

(١) العنوان الأصلي: INCONSTANT CONSTANTS

(٢) A Ruler You Can Trust

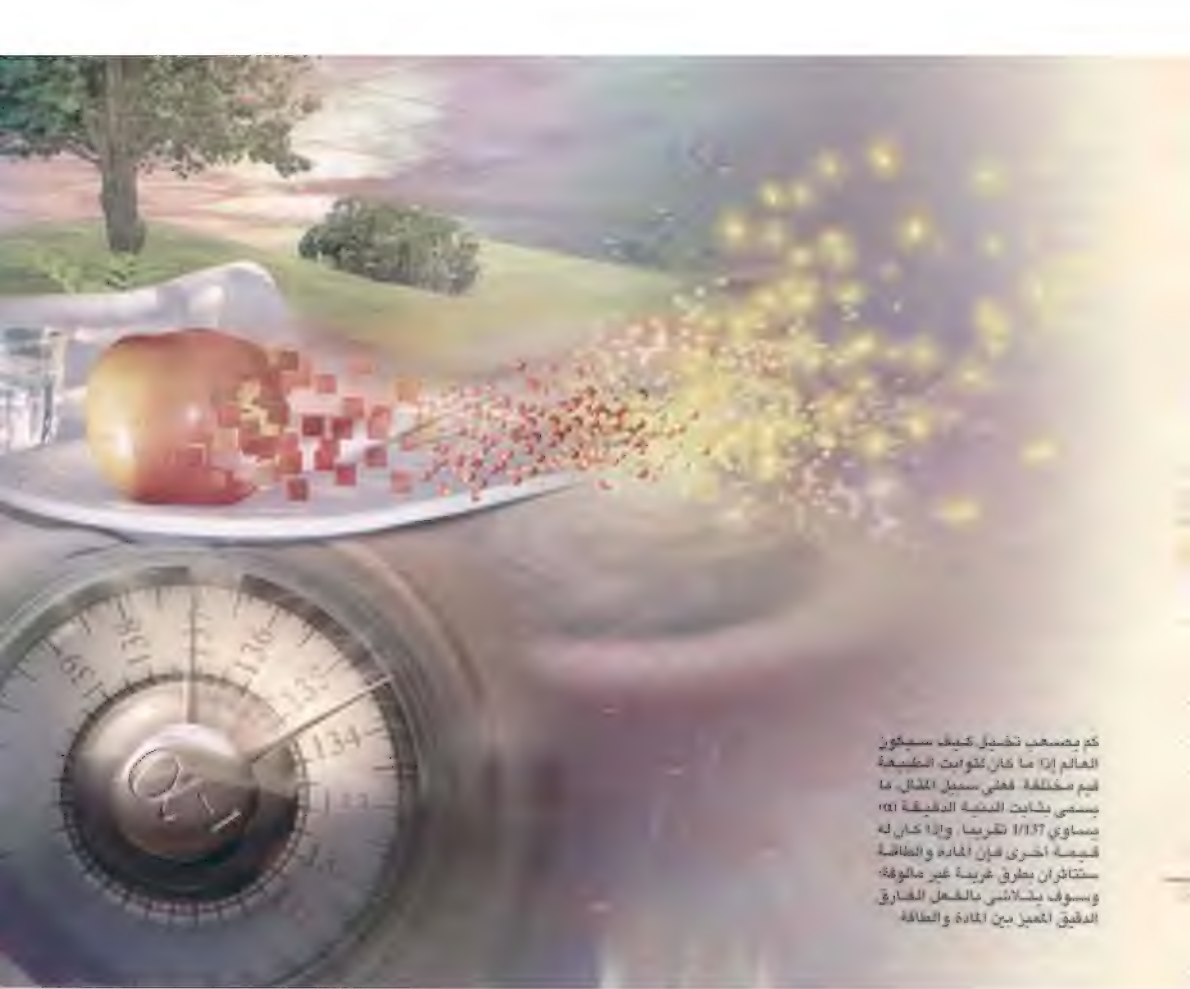
(٣) theory of everything

(٤) "The String Theory Landscape"

by Raphael Bousso - Joseph Polchinski

[Scientific American, September 2004]

(٥) السريالية: فوق الواقع، التعبير عن أنشطة العقل الباطن بصورة غير منتظمة وغير مترابطة (الحرير)



كم يصعب تخيل كيف سيكون
العالم إذا ما كان ثوابت الطبيعة
قيم مختلفة. فعلى سبيل المثال، ما
يسمى بثابت البنية الدقيقة α ،
يساوي $1/137$ تقريبا، وإذا كان له
قيمة أخرى فإن المادة والطاقة
ستتأثران بطرق غريبة غير متوقعة.
وسوف يتلاشى بالفعل الفارق
الدقيق المعجز بين المادة والطاقة.

للتأثرات الكهرومغناطيسية (e) بين جسيمات مشحونة في فضاء مطلق (ϵ_0)، وقد أسفرت قياسات الثابت α عن المقدار $1/137.03599976$ أو $1/137$ تقريبا، وأضفت قيمة الثابت α إلى العدد 137 أهمية أسطورية بين الفيزيائيين (عادة ما يستخدمونه لفتح الأقفال التوافقية لحقائب أوراقيهم).

إذا اختلفت قيمة الثابت α ، فجميع أنواع القسومات الحيوية للعالم من حولنا سوف تتغير. فإن كانت أقل فإن كثافة المادة الذرية الصلبة سوف تنخفض (متناسبة مع α^4) وسوف تنكسر الروابط الجزيئية عند درجات حرارة أدنى (متناسبة مع α)، وعدد العناصر المستقرة في الجدول الدوري يمكن أن يزيد (متناسباً مع $1/\alpha$). أما إذا كانت

وحدات - وإنما هي أعداد صرفة - بحيث يكون لها نفس القيم دون النظر إلى نظام الوحدات، مثال ذلك: النسبة بين كتلتين، كنسبة كتلة البروتون إلى كتلة الإلكترون. وهناك إحدى النسب ذات الأهمية الخاصة، التي تجمع بين سرعة الضوء (c) والشحنة الكهربائية للإلكترون (e) وثابت بلانك (h) وما يعرف بسماحية الفراغ vacuum permittivity (ϵ_0). وهذه الكمية الشهيرة: $\alpha = e^2/2\epsilon_0 hc$ والتي تسمى «ثابت البنية الدقيقة» تم إدخالها أول مرة في عام 1916 على يد «A» سومرفيلد» رائد تطبيقات نظرية الميكانيك الكمومي في حقل الكهرومغناطيسية، ويكم هذا الثابت الخاصيتين: النسبية (c) والكمومية (h)

بالنسبة للملاحظين الذين يبحثون في الانحرافات عن الثبات.

وتدعو مثل هذه التجارب إلى التحدي وتكمن المشكلة الأولى في أن الجهاز المختبري ذاته يمكن أن يكون حساساً لما يحدث في الثوابت من تغيرات. إن حجم جميع الذرات يمكن أن يتزايد، لكن إذا ما تزايد بالمثل طول المسطرة التي تستخدمها لقياس الأبعاد، فإنك لن تستطيع أبداً أن تقرر الصواب. فالتجريبيون يفترضون بصورة روتينية ثبات وحدات القياس المرجعية لما يستخدمونه من مساطر وموازين وساعات ولكنهم لا يستطيعون ذلك عند اختبار الثوابت الطبيعية. بل يجب عليهم أن يركزوا انتباههم على الثوابت التي ليس لها

الضوء وثابت البنينة الدقيقة^(١٢)

إن عددا من الثوابت الطبيعية المعروفة جيدا، مثل سرعة الضوء، يمكن أن يتحددن ثابت البنينة الدقيقة (α) - وهو العدد الذي يمثل مدى شدة التآثر بين الجسيمات خلال القوى الكهرومغناطيسية. أحد هذه التآثرات هو عملية امتصاص الفوتونات بالذرات، وعندما يسقط الضوء على ذرة فإنها تمتص ألوانا نوعية، يتألف كل منها فوتونات ذات طول موجي معين.

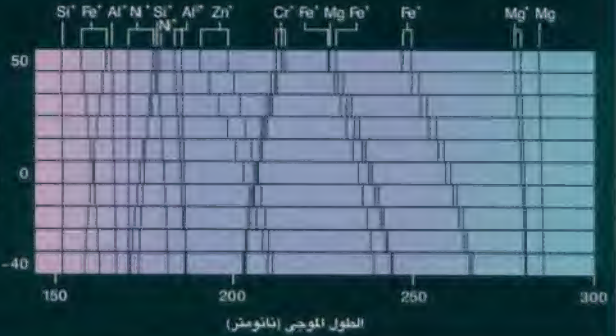


عندما تكون قيمة الثابت α أصغر بنسبة 5% عندما تكون قيمة الثابت α هي المتداولة حاليا



توضح الأطياف التي جرت محاكاتها كيف أن تغير الثابت α يؤثر في امتصاص الضوء فوق البنفسجي القريب بواسطة عناصر ذرية مختلفة. تمثل الخطوط الأفقية السوداء الأطول الموجية الممتصة، وقمة نمط فريد من الخطوط لكل ذرة أو أيون. وتؤثر التغيرات في قيمة ثابت البنينة الدقيقة في المغنيزيوم (Mg) والسيليكون (Si) والألمنيوم (Al) بدرجة أقل من تأثيرها في الحديد (Fe) والزنك (Zn) والكروم (Cr) والنيكل (Ni).

التغير النسبي في قيمة α (نسبة مئوية)



تصف مستويات طاقة الإلكترونات داخل الذرة عملية الامتصاص. تنتقل طاقة فوتون إلى إلكترون فيقفز صاعدا على سلم المستويات المتاحة. وكل فقرة ممكنة تتأثر طولًا موجيًا مميزًا. تعتمد المسافات البينية للمستويات على مدى قوة انجذاب الإلكترون إلى نواة الذرة، ومن ثم فإنها تعتمد على الثابت α . وفي حالة أيونات المغنيزيوم (Mg^{+})، إذا ما كانت قيمة الثابت α أصغر من القيمة المتداولة حاليا، فإن المستويات سوف تتقارب، ومن ثم تحتاج الفوتونات إلى طاقة أقل (أي طول موجي أطول) لتدفع الإلكترون إلى أعلى السلم.

يوليها عناية واهتماما، فقام بالقياسات الأولية «A. ثورن» و«J. بيكرنك» [من الكلية الإمبراطورية بلندن] وتلتها مجموعات بقيادة «S. جوهانسون» [من مرصد لوند بالسويد] و«K. كريزمان» و«R. كلنك» [من المعهد الوطني للمعايرة والتقانة في ميريلاند].

أما المشكلة الثانية فقد تمثلت في أن الأرصاد السابقة استخدمت ما يسمى «خطوط الامتصاص الثنائية للقلويات»^(١٣) - وهي أزواج من خطوط امتصاص ناشئة عن الغاز نفسه، مثل الكريون أو السيليكون. قارن العلماء المسافات البينية لهذه الخطوط في أطراف كوازار بالقياسات المختبرية، لكن هذه الطريقة لم تنجح في

الموجبة بالنسبة لتغير معين في قيمة α في حين تزداد أخرى. ويصعب محاكاة النمط المعقد للتأثيرات باستخدام أخطاء معايرة البيانات مما يمنح الاختيار قوة مدعشة.

قبل أن نبدأ عملنا منذ سبع سنوات، كانت هناك مشكلتان تحدان من محاولات إجراء القياسات، وأولاهما: لم يكن باحثو المختبر قد قاسوا الأطوال الموجية للعديد من الخطوط الطبيعية ذات الصلة بدقة كافية. ومما يبعث على السخرية أن العلماء اعتادوا أن يعرفوا عن أطراف الكوازارات التي تبعد عنا بلايين السنين الضوئية أكثر مما يعرفونه عن أطراف العينات هنا على الأرض. ولقد احتجنا إلى قياسات مختبرية عالية الدقة لمقارنتها بأطراف الكوازار. لذا أقنعنا العلماء التجريبيين بأن

الإلكترونات داخل الذرة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى. وتحدد مستويات الطاقة هذه بمدى إحكام قبضة النواة الذرية على الإلكترونات، الذي يعتمد على شدة القوة الكهرومغناطيسية بينهما، ومن ثم فهو يتوقف على ثابت البنينة الدقيقة. إذا كانت قيمة الثابت مختلفة حين حدث امتصاص للضوء، أو في تلك المنطقة المحددة من الكون، التي حصلت فيها، فإن الطاقة اللازمة لرفع الإلكترون ستختلف عن الطاقة اللازمة حاليا في التجارب المختبرية، ومن ثم سوف تختلف الأطوال الموجية للانتقالات الرئية في الأطياف. وتعتمد الطريقة التي تتغير بها الأطوال الموجية بصورة حاسمة على التشكيل المداري للإلكترونات. وتتخلص بعض الأطوال

^(١٢) Light and the Fine-Structure Constant (١٣)
Aldersonian absorption lines (١٤)

جولات سياحية

البيت الزجاجي في الصحراء^(١)

يستقبل البيوسفير 2 السياح والعلميين على حد سواء.

التأقلم مع ارتفاع هذه المستويات، إذ تبدأ أنواعه بالتنقير الواحد بعد الآخر. ومن الممكن مشاهدة المرجان والأسماك الوفيرة في هذا المحيط من مكان يقع تحت مائه ويمكن الوصول إليه من خارج المنشأة.

تعود المجموعة ثانية إلى خلف المشهد عبر ممرات صناعية تقع أسفل أنظمة بيئية مختلفة وعلى جوانبها، ويبدو الأمر لأفرادها وكأنهم في صالة عرض سينمائي، يتواصل فيها أمام ناظرهم الطبيعي والصنعي جنباً إلى جنب. ويدين الدليل «يونك» مقدار التكلفة المرتفعة اللازمة للتحكم في حركات الأسماك، وللحفاظ على درجات الحرارة الخاصة بكل قطعة أرض في المنشأة، مشيراً إلى أنها تبلغ نحو 50 000 دولار في الشهر الواحد وذلك تبعاً لما يؤكدته مكتب الاتصالات؛ إذ بدون أنظمة التبريد والتهوية، ترتفع درجة الحرارة داخل المنشأة ارتفاعاً كبيراً وسريعاً بتأثير حرارة أشعة شمس الصحراء المحرقة. ويتذكر «يونك» بأن درجة حرارة الغاية المطيرة قد ارتفعت، في إحدى المرات التي تعطل فيها نظام تزويد المبنى بالطاقة، من 85 إلى 120 درجة فهرنهايت خلال خمس عشرة دقيقة.

تنتهي هذه الجولة في الأمكنة المغطاة بالزجاج، والتي تعرف بالجولة «تحت

الأخيرة قد قصت وشذبت حتى لا تندفع من السقف الزجاجي إلى خارج المبنى). كان «W. يونك» (وهو دليل المجموعة في جولتها) يخبر أقرانها بأن الباحثين قد أنهوا لتوهم تعريض النباتات إلى ثلاثين يوماً من الجفاف تبعثها سبعة أيام من المطر وذلك خلال عدة أشهر، بهدف تعرف كيف تؤثر هذه الشروط البيئية في امتصاص النباتات لغاز ثاني أكسيد الكربون. ولأن نظام البيوسفير 2 مغلق، فهو يسمح بالتحكم في الشروط المناخية السائدة فيه وفي كمية المطر الهائلة، مما يتيح للعاملين العلميين به التحكم في شروط التجارب التي يجريها.

ويعد أن ينتهي الزوار من جولتهم في الغاية المطيرة اللطيفة الخالية من البعوض، فإنهم يعبرون باباً يبرون منه إلى شاطئ محيط صغير فيمتعون أبصارهم وأسماعهم برؤية وسماع صوت أمواجه وهي تتكسر على شاطئته. وفي هذا المحيط يعمل الباحثون على دراسة تأثير ارتفاع مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون في حياة نحو 25 نوعاً مختلفاً من المرجان. وقد سبق لمثل هذه الدراسة أن أظهرت عدم قدرة المرجان على

في صبيحة يوم مشرق وحر في الصحراء إلى الشمال من نوسان بولاية أريزونا، تصلي الشمس بأشعتها مجموعة أشخاص لا يتجاوز عددهم العشرة، يمشون في طريقهم عبر سافانا^(٢) savanna، وحول سيخة marsh ومحيط بحري صغير وأسمال من خطوط الأنابيب والأقنية والدعامات الفولاذية والألواح الزجاجية. كان هناك مبنى زجاجي عظيم يبدو وكأنه دفيئة greenhouse، وهذا المبنى هو مبنى البيوسفير 2 الذي يفتح أبوابه لاستقبال جمهور الزوار والطلبة العلميين الذين يجرون فيه تجاربهم عن تبدل أحوال المناخ. وفي ذلك اليوم كانت الغاية المطيرة أيضاً قد فتحت أبوابها الملقة عادة أمام الزوار.

تحركت المجموعة - من داخل الجزء الإسمنتي لجبل صناعي فيه شلال ارتفاعه 55 قدماً - إلى خارجه نحو غابة مشبعة بالرطوبة. وأفرادها يسرون في جو حار بلغت حرارته 85 درجة فهرنهايت وبلغت نسبة الرطوبة فيه 95 في المئة. وقد حجب عنهم رؤية صحراء أريزونا نباتات مختلفة وأشجار التخيل المتشابهة القروع وأشجار اللوز والكابوك (وكانت أغصان هذه الأشجار

^(١) أو شهب = أرض مستوية واسعة مقتراسة الأطراف فيها أعشاب وشجيرات متفرقة. (التحرير)

^(٢) THE GLASS HOUSE IN THE DESERT

يبلغ البيوسفير 2 مساحته قرابة 35 000 متر مربعاً إقليدياً، وهذه خمس من أجناسه التي المصممة في جميع جوانبها. وتحتوي هذه المنشأة في البيوسفير 2 على أكثر من ثمانين نوعاً من النباتات والحيوانات على السواء.



البحث عن تغيرات في ضوء الكوازارات^(١)

عندما تنار سحابة غازية بعيدة بضوء كوازار، فإنها توفر للفلكيين فرصة لسير عملية امتصاص الضوء، ومن ثم اختبار قيمة ثابت البنية الدقيقة في بدايات التاريخ الكوني.

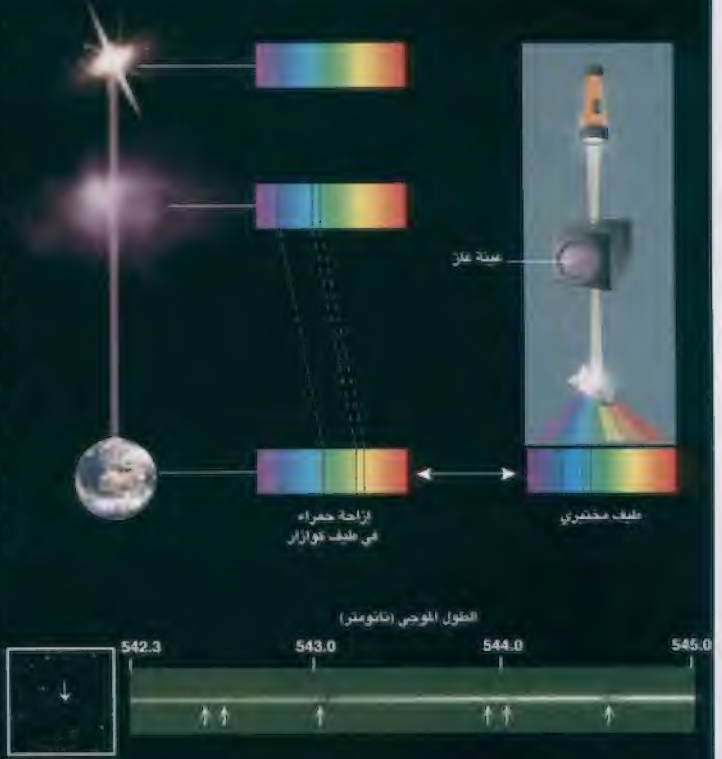
1 يبدأ الضوء المنبعث من كوازار رحلته إلى الأرض منذ بلايين السنين بطيف بسيط أملس.

2 يمر الضوء المنبعث في أثناء رحلته خلال سحابة غازية أو أكثر، فيحجب الغاز أطوالاً موجية معينة لتنتشأ سلسلة من الخطوط السوداء في الطيف. ولإجراء قياسات على ثابت البنية الدقيقة يركز الفلكيون اهتمامهم على الامتصاص بالفلزات (المعادن).

3 حينما يصل الضوء إلى الأرض، تكون الأطوال الموجية للخطوط قد انزاحت بسبب التمدد الكوني. ويبدل مقدار الإزاحة على بعد السحابة، ومن ثم على عمرها.

4 يمكن مقارنة المسافات الفاصلة بين الخطوط الطيفية بالقيم المقاسة في المختبر. ويظهر فروق يعنى أنه كان لثابت البنية الدقيقة قيمة مختلفة.

يبين طيف كوازار، مأخوذ بمقراب كبير جداً في المرصد الجنوبي الأوروبي، خطوط الامتصاص الناتجة من سحب غازية بيننا وبين الكوازار (موضحة باسمهم في اليمين). وتبين مواضع الخطوط (الموضحة باسمهم في أقصى اليمين) أن الضوء مر خلال سحب غازية منذ نحو 7.5 بليون سنة.



توقعنا أن تثبت أن قيمة ثابت البنية الدقيقة منذ عهد بعيد كانت هي نفس القيمة الحالية، وأن إسهامنا سيكون ببساطة توفير دقة أعلى، لكن الذي أدفعنا أن ننشأه الأولى في عام 1999 أظهرت فروقا صغيرة ولكنها معنوية من الناحية الإحصائية. وأكدت نتائج إضافية هذا الاكتشاف. وقد وجدنا استنادا إلى حصيلة 128 خط امتصاص في طيف كوازاري أن متوسط الزيادة في قيمة الثابت α قريب من ستة أجزاء في المليون طوال الفترة التي راوحت بين ستة بلايين و12 بليون سنة.

إن الادعاءات غير العادية تتطلب برهانا

Looking for Changes in Quasar Light (١)
Changing Minds (١١)
Lower-energy level (١٧)
The easy-multiple method (٢١)

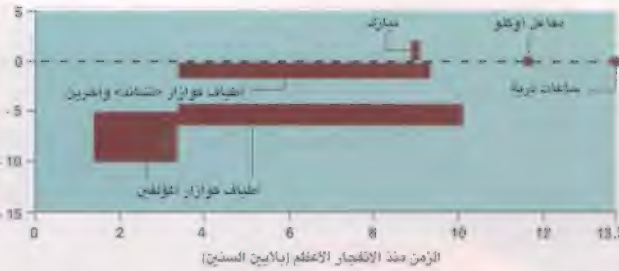
الطريقة، إضافة إلى ذلك، بالمقارنة بين عناصر مختلفة (على سبيل المثال، المغنيزيوم والحديد) مما يتيح الفرصة لمزيد من التدقيق المتبادل cross checking. وقد تطلب تطبيق هذه الفكرة القيام بحسابات عديدة معقدة للبرهنة بدقة على كيفية اعتماد الأطوال الموجية المرصودة على α بالنسبة لاختلاف أنواع الذرات. ولقد تمكنا بالجمع بين هذه المقاربة الجديدة المعروفة باسم «طريقة تعدد الخطوط الطيفية المضاعفة»^(٢) وبين استخدام المقارب والمكاشيف الحديثة من اختبار ثبات α بدقة غير مسبوقة.

تغيير الآراء^(٣)

عندما بدأشنا العمل في هذا المشروع

الاستفادة من ظاهرة سحابة مؤداها أن التغير في قيمة الثابت α لا يؤدي فقط إلى مجرد تغيير المسافة الفاصلة بين مستويات طاقة الذرة بالنسبة لأدنى مستوى طاقة^(٤) أو الحالة الأساسية «الأرضية» وإنما يغير أيضا موضع الحالة الأرضية ذاتها. وفي الواقع فإن هذا التأثير الثاني أقوى كثيرا من الأول. وبناء على ذلك، فإن أعلى دقة أنجزها الراصدون كانت نحو جزء واحد من 10⁶ فقط.

توصل أحدنا «ويب» بالاشتراك مع «ڤلامايوم» [من جامعة نيو ساوث ويلز في أستراليا] في عام 1999 إلى طريقة تأخذ كلا التأثيرين في الاعتبار. وكانت النتيجة اختراقا هائلا حيث تضاعفت الحساسية عشر مرات. وتسمح هذه



إن قياسات البنية الدقيقة غير حاسمة، فبعضها يبين أن الثابت كان ذا قيمة أصغر، وبعضها لا يبين ذلك، وربما يكون الثابت قد تغير في وقت مبكر من التاريخ الكوني ثم توقف عن ذلك، (يمثل كل صندوق مدى البيانات).

في ألمانيا [ثلاث مجموعات كوازار جديدة، وتم تحليل 23 مجموعة أخرى عام 2004 على أيدي «B. تشاند» و«A. سرياناند»] من مركز التبادل الجامعي للفلك والفيزياء الفلكية في الهند و«P. بيتتجان» [من معهد الفيزياء الفلكية] و«A. أراسيل» [من LERMA في باريس]. ولم تجد أي من هذه المجموعات تغيراً في قيمة الثابت α ، و«B. تشاند» هذا موضحاً أن أي تغير يجب أن يكون أقل من جزء في المليون طوال الفترة من ستة إلى عشرة بلايين سنة.

كيف يمكن أن يؤدي تحليل مماثل تماماً إلى مثل هذا التناقض الجذري لمجرد استخدام بيانات مختلفة؟ إن الإجابة غير معروفة حتى الآن، فالبينات التي توصلت إليها هذه المجموعات ذات نوعية ممتازة، ولكن عيناتهم أصغر كثيراً من عيناتنا ولا تعود في تاريخ الكون إلى القدم نفسه، ولم يُقوّم تحليل «تشاند» جميع الأخطاء التجريبية والمنهجية بصورة كاملة، ولأنه استند إلى صيغة مبسطة لطريقة تعدد الخطوط الطيفية المضاعفة، فربما يكون قد أدخل أخطاء جديدة من عنده.

انتقد أحد علماء الفيزياء الفلكية المشهورين، وهو «J. باهكال» [من جامعة برنستون]، طريقة تعدد الخطوط الطيفية المضاعفة ذاتها، لكن المشكلات التي تعرفها كانت من نوع الارتباطات العشوائية التي تتلشى في عينة كبيرة. كما أنه وزملاءه، إضافة إلى فريق عمل يقوده «J. نيومان» [من مختبر Lawrence Berkeley الوطني] قصلوا النظر إلى خطوط الإصدار على النظر إلى

موجي مختلف، لكن الأطوال الموجية الثلاثة قريبة من بعضها، وبصورة عامة، يسجل التحليل الطيفي للكوازار الخطوط الثلاثة مندمجة في خط واحد، ويستدل الباحثون استناداً إلى قياسات الوفرة النسبية للنظائر الثلاثة مختبرياً على إسهام كل منها، وإذا اختلفت نسب الوفرة هذه في الكون الفتي بصورة جوهرية - مثلاً يحتمل أن يكون قد حدث إذا كانت النجوم التي نثرت المغنيزيوم في داخل مجراتها أثقل، في المتوسط، من نظائرها اليوم - فإن تلك الفروق يمكن أن تحاكي التغير في الثابت α .

لكن دراسة منشورة هذا العام (2005) توضح أن النتائج لا يمكن تفسيرها بهذه السهولة، فقد اكتشف «Y. فينر» و«K. كيمسون» [من جامعة سوينبيرن للتقانة في أستراليا] و«T.M. مورفي» [من جامعة كامبريدج] أن مواضع نسب الوفرة للنظائر كي تحاكي التغير في قيمة الثابت α ، تؤدي أيضاً إلى إنتاج النيوترونين بإفراط في الكون المعن في القدم - مما يتناقض مباشرة مع الملاحظات الرصدية، وإذا ثبت ذلك، يجب علينا أن نتصدى للقول الأرجح، بأن قيمة الثابت α كانت متغيرة حقاً.

وسرعان ما تحقق المجتمع العلمي من أهمية المغزى الهائل المحتمل لنتائجنا، وتحس علماء أطياف الكوازار في جميع أنحاء العالم للمضي في إثره، وأجروا على الفور قياساتهم الخاصة. ففي عام 2003 درست فرق عمل يقودها «S. ليفشاكوف» [من معهد إيوف الفيزيائي التقاني في مدينة سانت بطرسبرغ بروسيا] و«K. كواست» [من جامعة هامبورغ

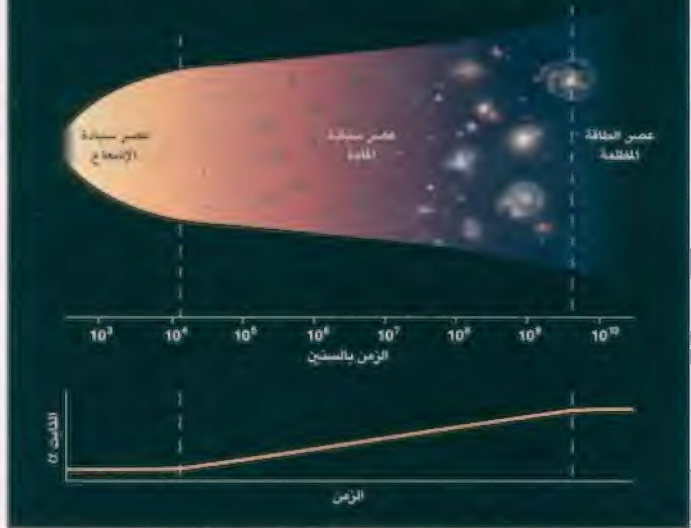
غير عادي، ومن ثم فقد تحولت أفكارنا العاجلة إلى مسائل محتملة خاصة بالنتائج أو طرق التحليل. ويمكن تصنيف هذه الارتباطات إلى نوعين: منهجية وعشوائية. أما الارتباطات العشوائية فإنها أسهل فهمًا، فهي بكل ما في الكلمة من معنى - اعتباطية. ويختلف الارتباطات العشوائية من قياس لآخر، لكن حاصل متوسطها يقترب من الصفر بالنسبة لعينة كبيرة. أما الارتباطات المنهجية التي ليس لها متوسط إجمالي فإنه يصعب التعامل معها لأنها متوطنة في علم الفلك: ويمكن خفضها إلى الحد الأدنى إذا قام علماء المختبر التجريبيون بتعديل تركيبة أجهزتهم وتبديل ترتيبها، لكن الفلكيين لا يستطيعون تغيير الكون، لذا فإنهم مجبرون على قبول الاعتقاد بأن جميع طرقهم لجميع النتائج تتضمن انحيازاً bias تتعذر إزالته، فعلى سبيل المثال، إن أي مسح للمجرات سوف يمتثل بدرجة أكبر بالمجرات البارقة لأن رؤيتها أسهل. كما أن تعرف هذه الانحيازات ومعالجتها يبقى تحدياً ثابتاً.

كان أول ما بحثنا عنه هو تشوه مقياس الطول الموجي الذي قيس على الخطوط الطيفية للكوازار، ويمكن إدخال مثل هذا التشوه، على سبيل المثال، أثناء معالجة بيانات الكوازار من حالتها الخام عند المقرب إلى طيف معاير، وعلى الرغم من أن التمدد أو الانضغاط الخطي البسيط لمقياس الطول الموجي لا يستطيع أن يحاكي بدقة التغير في الثابت α ، فإن محاكاة دقيقة يمكن أن تكون كافية لتفسير نتائجنا، ولاختبار مشكلات من هذا النوع، استعصنا عن بيانات المعايرة ببيانات الكوازار وقمنا بتحليلها، مظهرين بأنها كانت نتائج الكوازار. وقد استبعدت هذه التجربة أخطاء التشوه البسيطة بثقة عالية.

وطوال سنتين أو أكثر استطعنا أن نعد الانحيازات المحتملة، الواحد تلو الآخر، فقط لاستبعادها بعد بحث تفصيلي بسبب ضلّة التأثير. ولقد تعرفنا حتى الآن مصدراً واحداً فقط للانحياز يمثل أهمية محتملة، ويتعلق بخطوط الامتصاص الناتجة من عنصر المغنيزيوم، فكل تظير من النظائر الثلاثة المستقرة للمغنيزيوم يمتص ضوءاً ذا طول

أحيانا تتغير وأحيانا لا

طبقا لنظرية المؤلّف، ينبغي أن يكون ثابت البنية الدقيقة قد بقي ثابتا أثناء فترات معينة من التاريخ الكوني، وازداد خلال فترات أخرى. إن النتائج المبينة (الشكل في الصفحة السابقة) متسقة مع هذا التنبؤ.



الحقلان الكهربائي والمغناطيسي في حالة اتزان. ومع زيادة تمدد الكون رقت منطقة الإشعاع وأصبحت المادة هي المكون السائد للكون. وأصبحت الطاقتان الكهربائية والمغناطيسية غير متساويتين، وبدأ الثابت α بالزيادة ببطء شديد متناسبا بشكل يتناسب مع لوغاريتم الزمن. ومنذ نحو ستة بلايين سنة سادت الطاقة للظلمة وتسارع التمدد، وتعذر بذلك على جميع التأثيرات الفيزيائية أن تنتشر خلال الفضاء، فعاد مقدار الثابت α مرة أخرى مقدارا ثابتا تقريبا.

يتسق هذا النمط المتنبأ به مع ملاحظتنا (أرصادنا)، فالخطوط الطيفية للكوازارات تمثل فترة سيادة المادة في التاريخ الكوني، عندما كان الثابت α يتزايد. في حين توافق النتائج المخبرية وفتانج «أوكلو» فترة سيادة الطاقة المظلمة التي كان مقدار الثابت α خلالها ثابتا. وتعتبر الدراسة المستمرة لتأثير التغير في α في العناصر المشعة في النيازك ذات أهمية خاصة لأنها تسير الانتقال بين هاتين الفترتين.

ألفا هي مجرد البداية

لا تقتصر أية نظرية جديدة بالاعتبار فقط على استخراج الملاحظات، وإنما يجب أن تقدم تنبؤات جديدة. وتقرّح النظرية المذكورة أنفا أن تغيير ثابت البنية الدقيقة يجعل الأشياء تسقط بطريقة مختلفة. لقد تنبأ «كاليليو» بأن الأجسام تسقط في الفراغ بنفس المعدل مهما كان محتواها - وهي الفكرة المسماة «مبدأ التكافؤ الضعيف» - الذي برهن عليه بوضوح عندما قام سلاح الفضاء «D. سكوت» في أيلول 15 بإسقاط ريشة طائر ومطرقة وراهما يرتطمان بالتراب القمري في الوقت نفسه. أما إذا تغيرت قيمة α فإن ذلك المبدأ لا يتحقق تماما. فالتغيرات تولد قوة تؤثر في جميع الجسيمات المشحونة، ويزداد الإحساس بهذه القوة كلما زادت البروتونات الموجودة في نواة الذرة. فإذا كانت أرصادنا للكوازارات صحيحة فإن تسارعات المواد

قوانين الكهرومغناطيسية بصرامة لمعالجة ثوابت متغيرة. وارتقت النظرية بالثابت α من مجرد عدد إلى ما يسمى بالحقل السلمي - جوهر الطبيعة التحريكي لكن نظريته لم تتضمن الثقلالة. ومنذ أربع سنوات قام أحدنا «بارو» بالاشتراك مع «H. ساندفيك» و«D. ماكيجو» [من الكلية الإمبراطورية بلندن] بتعميم النظرية لتلقي بذلك.

تفري هذه النظرية بتنبؤات بسيطة. إذ يمكن إهمال تأثير تغيرات في قيمة الثابت α في حدود أجزاء قليلة لكل مليون في تمدد الكون. ذلك لأن الكهرومغناطيسية أضعف كثيرا من الثقالة على المقياس الكوني. لكن على الرغم من أن التغيرات في ثابت البنية الدقيقة لا تؤثر بشكل عام في تمدد الكون، فإن التمدد يؤثر في قيمة الثابت α إن ما يحدث التغيرات في قيمة الثابت α هو عدم التوازن بين طاقة الحقل الكهربائي وطاقة الحقل المغناطيسي. فخلال عشرات الآلاف من السنين الأولى من عمر الكون ساد الإشعاع على الجسيمات المشحونة وفي

خطوط الامتصاص. وتعتبر هذه المقاربة حتى الآن أقل دقة بدرجة كبيرة، ولكنها قد تسلم إلى نتائج مفيدة في المستقبل.

إصلاح القوانين

إذا ثبت أن اكتشافاتنا صحيحة، فإن نتائجها ستكون هائلة، على الرغم من أنه لم يجز تحريها إلا بصورة جزئية. وحتى عهد قريب جدا كانت جميع الجهود المبذولة لتقييم ما يحدث للكون عندما يتغير ثابت البنية الدقيقة عبارة عن محاولات غير مرضية. فهي لم تتوصل إلى أكثر من افتراض أن الثابت α صار متغيرا في نفس الصيغ التي تم استنتاجها بفرض أنه ثابت، وهذا عرف «مشكوك في نتيجته». إذا تغيرت قيمة الثابت α فإن تأثيراتها يجب أن تبقى على انصافا الطاقة وكمية الاندفاع (الزخم) وأن تؤثر في الحقل الثقالي في الكون. وقد كان «D. بيكنشتين» [من الجامعة العبرية في القدس] أول من قام في عام 1982 بتعميم

Sometimes it changes, sometimes not (-)
Returning the Laws (-)
Alpha is Just the Beginning (-)
Scalar field (1)
The weak equivalence principle (2)

أكثر من التركيز على غيره من ثوابت الطبيعة لأن تأثيراته - ببساطة - قابلة للإدراك بسهولة. وإذا كان الثابت α قابلاً للتغير، فإن الثوابت الأخرى يجب أن تتغير أيضاً، جاعلة الطرق التفصيلية لأداء الطبيعة عملها أكثر ثقلًا مما خطر على بال العلماء.

إن الثوابت لغز غامض ختال، فكل معادلة فيزيائية مليئة بها، وهي تبدو عادية ومباشرة لدرجة يميل الناس معها إلى أن ينسوا أن قيمها غير قابلة للتعليل. وأصل هذه الثوابت شديد الارتباط بعدد من القضايا الرئيسية في العلم الحديث بدءاً من توحيد الفيزياء، ووصولاً إلى تمدد الكون ويمكن أن تكون هذه الثوابت الظل السطحي لبنية أضخم وأكثر تعقيداً من الكون الثلاثي الأبعاد الذي نشاهده حولنا. وتحديد ما إذا كانت الثوابت ثابتة حقاً ليس إلا الخطوة الأولى على طريق مؤدية إلى إدراك أعمق وأوسع لذلك الأفق النهائي.

Space-based test of the equivalence principle (1)
The luminosity of the universe (1)



إلى أين إذاً أوصلت فوراً النشاط هذه العلم؟ فيما يخص الثابت α ؟ إننا نتنظر بيانات وتحليلات جديدة لتأكيد أو دحض القول بأن الثابت α يتغير على المستوى المزعوم، ويركز الباحثون على هذا الثابت

المختلفة تختلف بنحو جزء في 10^{11} - وهي من الضالة بحيث تستعصي على الرؤية في المختبر بمعامل يبلغ نحو 100، ولكنها كبيرة بما يكفي لوضوحها في بعثات مستقبلية مثل الاختبار الفضائي لمبدأ التكافؤ (STEP).

هناك تطور آخر غير متوقع في هذه القصة، فلقد أهملت الدراسات السابقة للثابت α أن تأخذ بالاعتبار بحث خاصية حيوية هي «تجمع الكون الكبير»³. إن مجرة درب التبانة، ككل المجرات، أكثر مليون مرة تقريباً من المتوسط الكوني، لذا فإنها لا تعتمد بالتوازي مع الكون. لقد أوضحت حسابات «بارو» و«موتا»⁴ [من كمبريدج] في عام 2003 أن قيمة α قد تتصرف داخل المجرة بطريقة مختلفة عن سلوكها في داخل المناطق الأكثر فراغاً (خلاء) من الفضاء، وما إن تتكاثر مجرة فتية وتتراخي لتصل إلى حالة توازن تناقلي حتى يتوقف الثابت α تقريباً عن التغير داخلها، لكنه يستمر في التغير خارجها. لذا فالتجارب الأرضية التي تسبر ثبات α تعاني انحيازاً انتقائياً. ونحن بحاجة إلى المزيد من دراسة هذا التأثير لنعرف كيف يؤثر في اختبارات مبدأ التكافؤ الضعيف ولم تشاهد حتى الآن تغيرات مكانية في قيمة α . وقد أوضح «بارو» حديثاً - استناداً إلى انتظام إشعاع الخلفية الكوني للموجات الميكروية - أن الثابت α لا يتغير بأكثر من جزء واحد من 10^7 بين مناطق يفصلها عن بعضها في السماء مقدار عشر درجات.

المؤلفان

John D. Barrow - John K. Webb

بدأ بالعمل معاً في عام 1986 لاختبار ثوابت الطبيعة، عندما قضى «جوبي» إجازة تفرغ علمي مع «بارو» في جامعة سكس بإنجلترا. كان «بارو» يقوم بتحري إمكانات نظرية جديدة للثوابت المتغيرة، وكان «جوبي» مستغرقاً في أبحاث الكوازارات، وسرعان ما أغرى مشروعهما فيزيائيين ومكتبيين آخرين، خاصة «و. غلامايرو» [من جامعة نيو ساوث ويلز بأستراليا] و«T. مورفي» [من جامعة كمبريدج] و«د. ماكويجو» [من الكلية الإمبراطورية بلندن]. يعمل «بارو» الآن أستاذاً في كمبريدج وزميراً للجمعية الملكية في حين يعمل «جوبي» أستاذاً في جامعة نيو ساوث ويلز، وكلاهما معروف بجهوده في تبسيط العلوم. ألف «بارو» 17 كتاباً عاماً وعرضت مسرحيته «النهايات» *Infinities* في إيطاليا، وتكلم في مواقع متنوعة بما فيها مهرجان الفلامنقيسيا و10 داونغ ستريت والفاتيكان. أما «جوبي» فباحث دولي بصورة منتظمة وعمل في أكثر من عشرة برامج تلفزيونية وإذاعية.

مراجع للاستزادة

- Further Evidence for Cosmological Evolution of the Fine Structure Constant. J. K. Webb, M. T. Murphy, V. V. Flambaum, V. A. Dzuba, J. D. Barrow, C. W. Churchill, J. X. Prochaska and A. M. Wolfe in *Physical Review Letters*, Vol. 87, No. 9, Paper No. 091301; August 27, 2001. Preprint available online at arxiv.org/abs/astro-ph/0012539
- A Simple Cosmology with a Varying Fine Structure Constant. H. B. Sandvik, J. D. Barrow and J. Magueijo in *Physical Review Letters*, Vol. 88, Paper No. 031302; January 2, 2002. [astro-ph/0107512](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0107512)
- The Constants of Nature: From Alpha to Omega. John D. Barrow. Jonathan Cape (London) and Pantheon (New York), 2002.
- Are the Laws of Nature Changing with Time? J. Webb in *Physics World*, Vol. 16, Part 4, pages 33-38; April 2003.
- Limits on the Time Variation of the Electromagnetic Fine-Structure Constant in the Low Energy Limit from Absorption Lines in the Spectra of Distant Quasars. R. Srikanth, H. Chand, P. Petitjean and B. Aracil in *Physical Review Letters*, Vol. 92, Paper No. 121302; March 26, 2004. [astro-ph/0402177](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0402177)

Scientific American, June 2005

استبصارات

عندما يلتقي الطب (مع) الآداب^(١)

إن الدراسات الإنسانية وممارسة الكتابة والتأليف تؤديان إلى تخريج أطباء أفضل، لأن الأطباء يتعلمون كيف يستخلصون المعلومات الخفية من شكاوى المرضى، وذلك على حد قول «ريتشارد شارون».

الاجتماعية والطبية والمرضة. إن الضمير «أنتم» يتغير في سياق ما كتبوه. فقد قالت لإحداها «لقد وقعنا في الالتباس وسط هذا الكم من القراءات حول من هو «أنتم» ومن هو «أنا». وفي قطعة (مقالة) أخرى: «إن الكتابات هذه تعتبر حميمية جدا إلى درجة أنه يمكن كتابتها إلى عاشق محب». ولدة قرابة الساعة كانت تعرب عن وجهة النظر، والمقدمة، والمجاز أو الاستعارة؛ وعينت «لحظة مضنية» تحول فيها الكاتب من الشعور بالغضب العميق نحو المريض إلى التسامح، إنه اجتماع نموذجي للمجموعة العاملة في مجال علم الأورام السردي، الذين دأبوا على اللقاء طواعية مرتين في الشهر على مدى ثلاث سنوات. ولكنه لا يعتبر بأي حال اجتماعا معتادا لطاقم عامل في مستشفى.

وتحاول «شارون» أن تغير ذلك؛ فإلى جانب كونها طبيبة باطنية عامة وأستاذة في الطب السريري (الإكلينيكي) في كلية الأطباء والجراحين التابعة لجامعة كولومبيا، فإنها حاصلة على الدكتوراه في اللغة الإنكليزية. وهي تسعى مع آخرين إلى تحسين العلاقة بين الأطباء والمرضى باستخدام الأدب وصناعة الكتابة والتأليف. إن الهدف هو محاولة جعل الأطباء أكثر استعدادا لفهم مشاعر الآخرين ومشاركتهم انفعالاتهم، من خلال التحدث بوضوح والتفاعل مع ما يشعرون به، وتطوير مهارات رفيعة المستوى من الإصغاء ليكونوا أذنا تلتقط الإحساسات التي تختفي في التعبيرات المجازية أو في خفايا النص. إن هذا المجال - الذي يسمى الطب السردى^(٢) (القصصي)، أو الأدب والطب، أو الإنسانيات الطبية تبعا لأسلوب تناوله - قد بدا، وفقا لمعظم التقارير، قبل نحو 30 عاما، وتوسع حاليا بشكل كبير في مقررات كليات الطب في شتى أنحاء البلاد. وطبقا للاتحاد الأمريكي لكليات الطب، فإن 88 كلية طب من 125 خضعت للتقييم قدمت مقررات إنسانية عام 2004، وتطلبت 28 من بينها على الأقل، دراسات سردية أو أدبية بصورة أو بأخرى.

إن «شارون» التي صاغت مصطلح «الطب السردى» تقف في مقدمة هذه الحركة، ولأجل ذلك قامت بتأسيس مجموعة طوعية، مثل تلك المجموعة الخاصة بعلم الأورام السردي^(٣)، وقامت بتصميم المقررات المطلوبة لطلبة الطب والأطباء، التي يقرؤون فيها الأدبيات ويكتبون لكي يستطيعوا إعادة صياغة كيفية الاستماع والتفكير. وتحاول «شارون» أيضا أن تدرس سر نجاح هذه الطريقة.

تقول «شارون» «هوكنز» [أستاذة الدراسات الإنسانية في جامعة بنسلفانيا الطبية] «إن ما قامت به «شارون» بنجاح هو استحضار

في أحد أيام الأربعاء من الشهر 2005/5 اجتمع 10 من العاملين في مجال الأورام في مستشفى نيويورك المشيخي^(٤) حول طاولة كبيرة في غرفة اجتماعات لا نوافذ لها، وهم يتناولون السندويشات والفواكه ويناقشون أعمالهم مستخدمين مصطلحات يمكن أن تدهش مرضاهم. تقوم إخصائية اجتماعية بقراءة مقالة قصيرة تصف فيها خبرتها التي امتدت نحو 20 عاما قضتها في زيارة غرف المرضى، بعد أن أبلغهم الأطباء، أنهم مصابون بالسرطان - الأمر الذي «أنزلهم في شتاء حياتهم وأصابهم بالرعب». كانت تلك الإخصائية عاجزة عن أن تبدو هادئة أو بغير انفعال. وتقوم بطيعة بقراءة مقالة حول كيفية تفهمها لفقدان أحد زملائها لحافز معالجة السرطان. وتقرأ إحدى المرضات ما يبدو وكأنه كتاب استقبلتها

تستجيب «شارون» كناقدة أدبي لكل من الإخصائية



«ريتشارد شارون»: المصغية للحكايات^(٥)

تعمل مديرة لبرنامج الطب السردى^(٦) في جامعة كولومبيا، المصمم لتدريب الأطباء ليكونوا أكثر استعدادا لفهم مشاعر مرضاهم ومشاركتهم انفعالاتهم.

نشأت في مدينة بروكلين بولاية رود آيلاند، في مجتمع من المهاجرين الفرنسيين الكنديين.

قبل التحاقها ببيئة تدريس كلية الطب بجامعة كولومبيا عام 1981، عملت مدرسة بمدرسة ابتدائية وسائقة لحافلة وداعية للسلام.

WHEN MEDICINE MEETS LITERATURE (٦)

Rita Charon: Story Listener (٥٥)

New York Presbyterian Hospital (١)

narrative medicine (٢)

narrative oncology (٣)

المهارات التي نتعلمها كطلبة أداب، وهي وجهة النظر وكيفية صياغة قصة. وقد استماعت استحضار تلك النواحي في المقابلات الطبية. «إنه يمكنه الاستماع على مستويات مختلفة على سبيل المثال، فإن طبيبك يمكن أن يسأل: (منذ متى تعانين ضيقاً في التنفس؟) وأنت تجيبين: (منذ أن طُلقت زوجي). والسؤال التالي بالطبع سوف يكون (منذ متى تم ذلك؟) وعلى النقيض من ذلك فإن «شارون» يمكن أن تقول: (أخبريني عن تلك العلاقة) فهي تعلمهم كيفية الاستماع ومهاية الأشياء التي يستمعون إليها.»

وكما هو متوقع، فإن «شارون» - التي تبلغ من العمر 55 عاماً والتي تتميز بصغر قوامها وأناقته، وبعينين زرقاوين جميلتين حادتي النظرات - مستعدة ذات حس حاد أيضاً. وهي تقول بأن هذا النوع من الاستماع الذي بدأ لديها منذ أكثر من عقدين من الزمن أدى إلى تغيير علاقتها بالمرضى. فهي تقضي المزيد من الوقت معهم، وتكتب عن أمورهم أكثر من ذي قبل، وغالباً ما تشركهم في ما تكتبه. إن عملية التوثيق هذه جعلتها أكثر فضولاً وأكثر اهتماماً. وكما تقول «لقد كان لدي علاقات مزعجة وغير مؤثرة مع المرضى، ولكن بعد أن أكتب عنها وأسأل: (هل ذلك ما نحن عليه؟) يتغير الأمر كله.»

على سبيل المثال، تذكر «شارون»

مرضى كان يعاني ارتفاع الكوليسترول وألما في الصدر، وخلال لقائهما الأول بدأ قصته بالحديث عن وفاة والده عندما كان صبياً. «وعندما لم تقصر «شارون» ومريضها حوارهما على علاج الكوليسترول وألم الصدر، بدأ يتحدثان عن التحديات التي يواجهها المريض كإن، «وقد أوجد ذلك تحالفاً مثيراً إلى درجة أن ألم الصدر اختفى.»

إن العديد من الخبراء يعتبرون أن ذلك النوع من الاستماع الجيد يمكن أن يؤدي إلى تشخيصات ومقاربات أفضل. ويذكر «B. لوي» [الإخصائي في الأنثروبولوجيا والحجة في الطب السردي بجامعة ولاية ميسيسيبي] إجراء مقابلات مع أطباء ومرضى في مستشفى كوك كاوتني في شيكاغو حول الداء السكري، لأن القليل من المرضى كان يتقيد بنصائح الأطباء ولأن العديد منهم كان يقوم بذلك بشكل غير دقيق. وقد وجد «لوي» أن المرضى يعتقدون أن الأطباء نقلوا إليهم داء السكري عند إعطائهم حقن الإنسولين التي تستخدم عادة لعلاج التهابات. ويتساءل «لوي»: «كيف يتقيد المرضى بنصائح الأطباء إذا كانوا يعتقدون أنهم هم من سبب لهم المرض؟» ويضيف: إن العديد من الأطباء مازالوا غير مباليين بآثار تلك القصص. «إنهم تحت ضغوط كبيرة. إذ يضطرون إلى فحص الكثير من المرضى خلال فترة زمنية محدودة.»

إضافة إلى ذلك، فإن بعض الأطباء ينتقدون مناهج كليات الطب التي تتضمن الدراسات الإنسانية ومهارات التواصل، ووجهة نظرهم هو أن هذا الوقت يمكن الاستفادة منه بشكل أفضل في المواضيع

العلمية. ويقول «A. كافروازكي» [من المركز الطبي في جامعة نبراسكا وعضو مجلس التعليم الطبي التابع للجمعية الطبية الأمريكية]: «كما هي الحال في أي تغيير يحدث في أي مؤسسة وأسسة مثل الطب، هناك نزوع إلى الشك». ويضيف: «إن الحرس القديم قد يضمنون التشكك، ولكن الطلبة أنفسهم يحتضنون مثل هذه الحركة.»

إن انخراط «شارون» في الحركة الجديدة كان له جذوره الطويلة. ففي عام 1966 التحقت بجامعة فورد هام، وسرعان ما انضمت إلى برنامج تربوي تجريبي، حيث قام 30 طالباً و6 مدرسين بتصميم المنهاج الخاص بهم. وقبل أن تصبح طالبة طب في جامعة هارفارد عام 1974 تولت عدة وظائف، من بينها التدريس في إحدى المدارس الابتدائية التقدمية الحديثة الانتشاء. وقد تشكل اهتمامها بالتخصص السردي والطب خلال محاضرة ألقاها «B. ميشلر» [وهو إخصائي نفسي في جامعة هارفارد] اشتهر بإدخال النظرية السرديّة إلى علم الاجتماع. وتقول «شارون»: «لقد بهرني ما سمعته، وترسّت مع «ميشلر»، وطوراً ما أسمته طريقة للنظر إلى المرضى على أنهم أناس متكاملون وليسوا مجرد حالات مرضية، وركزت اهتمامها الخاص على أنماط الحديث من أجل صقل مهارات الاستماع لديها.



مداواة مبدعة: تراس «A. شارون» اجتماعاً لمجموعة علم الأورام السردي ويصف أحد علماء الأورام هذا العمل بأنه يقلل من مشاعر الإنهك البدني والعاطفي نتيجة الإرهاق.

وفي النهاية تُوجّ اهتمامها بالنظرية السردية في ثلاثة مناح: بأطروحتها للدكتوراه في كولومبيا عن أعمال الكاتب والناقد «H. جيمس» الأخيرة، بما في ذلك روايته *الجنحة البيضاء* *The Wings of the Dove*، وفيها أن إحدى الشخصيات الرئيسية الثلاث امرأة مريضة جداً، وبإنشاء برنامج للطبيب المقيم في كلية طب جامعة كولومبيا، شارك فيه كتاب مثل «S. سويتاك» و«M. أونداتجي» بإبداء ملاحظاتهم عن المرض مع طلبة وأساتذة الطب؛ ودراسة أطلق عليها اسم «المخططات المتوازية» *parallel charts*، يكتب فيها الأطباء المقيمون عن مرضاهم بأسلوب خال من المصطلحات الطبية. وتقوم «شارون» حالياً بتصميم دراسات لتقييم تأثير المخططات المتوازية ومجموعات العمل، مثل تلك الخاصة بعلم الأورام السردي. وتقول «شارون» و«G. J. نيكولز» [إخصائية الأمراض] إن القراءات قد حسنت العلاقات بين العاملين في قسم الأورام، ومنعت الإنهك البدني والعاطفي نتيجة الإرهاق، وأدت من ثم إلى رعاية أفضل.

تقول «شارون»: «عندما يكون في قدرة ممرضة حديثة العهد جداً أن توفر الراحة والمساندة لمریسا في العمل، وعندما يجد كبير أطباء الأورام نفسه وهو يبكي عند سماعه ما كتبتّه هذه الممرضة الشابة، فإن هذا الأمر يعني أشياء لا يمكن أن تحققها في جولاتك الطبية على المرضى. إننا نعقد اجتماعات ونقوم بجولات طبية، ولكن هذا الأمر لا يحدث هناك، وهذا ما نحاول أن نتعلمه.» ■

ملوكي، MD

إشهار حقوق مدعاة

بعض الحقوق محفوظة⁽¹⁾

ناشطو قوانين السبيرانية⁽²⁾ يبتكرون مجموعة من التراخيص للتشارك في الأعمال الإبداعية.

إمكانية التقبيل الواسع النطاق لفكرة الاستخفاف بالحوافز المادية، لكن مجموعة «التشارك الإبداعي» تستطيع ضمان أن تبقى الإنترنت أكثر من مجرد كونها مجمعا تجاريا. ومن جهته، ترجم «ليسيك» أقواله إلى أفعال على الرغم من دفاعه غير المجدي في العام 2002 أمام المحكمة العليا ضد



توسيع مصطلح حقوق النشر القائم حاليا في الولايات المتحدة. وقد أصبح الآن على عاتق الأكاديميين والعلماء وصانعي الأفلام المستقلين وغيرهم إظهار إمكانية تقاسم جزء من أعمالهم على الأقل، وأن التشارك في التبادل الإبداعي يمكن أن يصبح واقعيا في الفضاء السبيرانتي.

«ستكس»

بإهداء أي عمل إبداعي إلى عامة الناس. يمكن لمالك الحقوق المحفوظة أن يملأ استبياننا بسيطا معلنا في موقع مجموعة «التشارك الإبداعي» (www.creativecommons.org)، للحصول على نسخة إلكترونية لهذه الرخصة. ولما كان الإشعار بهذه الحقوق (أو أي تعديل له) اختياريا، فلا تتوافر طريقة معتمدة للملاحقة الأعمال التي يمكن للأخريين الوصول إليها. إن رخصة مجموعة «التشارك الإبداعي» مؤشرة بعلامات إلكترونية بحيث يمكن لمستخدم الإنترنت browser مجهزة لقراءة العلامة - مصاغة باللغة XML⁽³⁾ - أن يجد المواد التي تحمل حقوقا محفوظة والتي تقع ضمن الفئات الترخيصية المتنوعة. وهكذا، تستطيع مصورة طواعة ترغب في جذب الانتباه إلى صورها السماح باستخدام الصور التي تغطيها «المستوى صفر»⁽⁴⁾ Ground Zero في مانهاتن إذا أشير إليها كميدعة العمل. عندئذ يمكن لفنان تخطيطي يقوم بعملية «تشكيل رقمي» لصور الحادي عشر من سبتمبر 2001، أن يبحث عن كل من «المستوى صفر» وعلامة مجموعة «التشارك الإبداعي» وذلك للحصول على رخصة «ذكر المبدع فقط»⁽⁵⁾ التي تسمح بنسخ صور تلك الصورة ووضعها على الويب مادام اسمها مذكورا.

استوحى «ليسيك» ومجموعة ناشطي السبيرانية الآخرين الذين قاموا بإنشاء مجموعة «التشارك الإبداعي»، والتي تعمل انطلاقا من مكتب ضمن حرم جامعة ستانفورد، الفكرة من حركة البرمجيات المجانية وجهد سابقة مثل الترخيص السعبي المفتوح Open Audio License لمؤسسة الحدود الإلكترونية Electronic Frontier Foundation. وهذه المنظمة تتلقى مبلغ 850 ألف دولار أمريكي من مركز النطاق العام Center for the Public Domain، ومبلغ 1.2 مليون دولار أمريكي موزع على ثلاث سنوات، من مؤسسة جون وكاترين ماك آرثر. يتسائل بعض الخبراء القانونيين عن

في كتاب نُشر عام 2001، انتقد «ليسيك» (وهو استاذ في كلية الحقوق بجامعة ستانفورد) التهديد الوجه للإنترنت من قبل المصالح الإعلامية الواسعة من جهة، وقوانين الملكية الفكرية المزدهرة من جهة أخرى. فحسب رأي «ليسيك»، يجب على الإنترنت أن تشكل عنرا تشاركيا وأن تكون أداة لتشجيع الإبداع عن طريق تبادل الصور والموسيقى والأدب والملفات الأكاديمية بل حتى المقررات التعليمية. هذا، وقد اتجه حاليا «ليسيك» وأقرانه من خبراء القانون والثقافة نحو تجاوز الجدال الأكاديمي لمواجهة الخطر الملاحظ

في 2002/12/16، فتحت مجموعة «التشارك الإبداعي» Creative Commons اللاربحية أبوابها الرقمية لتقديم سلسلة من التراخيص المجانية التي تسمح بتقاسم أسهل للأعمال ذات الحقوق المحفوظة. وترمي هذه التراخيص إلى تجاوز الطبيعة المتشوهة أصلا لقانون حفظ الحقوق. وفي ظل الأنظمة السائدة حاليا فإن رسما أوليا يخطه فنان ناشئ على منديل ورقني لوجه رفيقة أثناء فترة الغداء، يعد محفوظ الحقوق حالما يرفع هذا الفنان قلعه عن المنديل. وفي هذه الحال لا تعد الإشارة⁽⁶⁾ ضرورية في أسفل المنديل إذ تصبح جميع الحقوق محفوظة تلقائيا.

لقد غيّرت التراخيص الصادرة عن مجموعة «التشارك الإبداعي» ذلك، فهي تسمح لمبدع العمل بأن يحتفظ بحقه عندما يذكر ببساطة «بعض الحقوق محفوظة»، وبإمكان المستخدم إعداد رخصة الاستخدام حسب رغبته: إذ يمكن أحد الخيارات في السماح لحامل الحقوق المحفوظة بأن ينص على أنه بالإمكان استخدام أية قطعة موسيقية أو أدبية لأية غاية كانت شريطة أن يُعزى العمل إلى مؤلفه. ويسمح خيار آخر (يمكن ضمه إلى الخيار الأول) باستخدام العمل لهدف غير تجاري. ومن جهة أخرى، يقدم الموقع (على شبكة الإنترنت) وثيقة تسمح

(1) STANDING CLAIMS (v) SOME RIGHTS RESERVED (v2) cyberspace (1) المصطلح مؤلف قصص الخيال العلمي «وليم كيبسون»، وقد اشتقه من «السبيرانية»، cybematics وهي الدراسة العلمية للاتصالات والتحكم، وبخاصة محاكاة هذه العمليات في النظم الإلكترونية المعقدة لنظيراتها في النظم العصبية للكائنات الحية. والسايريسيس هو فضاء صناعي يتكون بعرض بيانات في فضاء ثلاثي الأبعاد يمكن للمستخدم ملاحظته والتجوال فيه، من خلال إصدار الأوامر إلى الحاسوب.

(2) لغة تأشير قابلة للتوسيع Extensible Markup Language.

(3) لمنهي التجارة العالية المدمرين.

(4) reproduction only (1) (التصوير)

اسألوا أهل الخبرة

ما دور الزمر (الفصائل) الدموية المختلفة؟

يجيب عن هذا السؤال «هارفي كلاين» مدير قسم طب نقل الدم التابع للمعاهد القومية للصحة قائلاً:

تستطيع الزمر الدموية أن تسهم في البقاء تحت ظروف معينة. إن البروتينات النوعية والبروتينات السكرية glycoproteins والشحوم السكرية glycolipids الموجودة على سطح خلايا الدم الحمر هي التي تحدد الزمر الدموية، التي تورث. في عام 1990 وصف «A. B. O» التصنيف الأصلية. واليوم يتعرف الأطباء 23 مجموعة من الزمر الدموية والمئات من الزمر الفرعية.

يبدو أن غالبية هذه الجزيئات ليست ضرورية لعمل خلايا الدم، لكن لبعضها وظائف محددة تؤديها على سطح غشاء الخلية الحمر. فعوامل الزمر الدموية قد تكون نواقل transporters، تسمح على سبيل المثال، بدخول مواد إلى الخلية الحمر، وإخراجها منها؛ أو مستقبلات receptors تسمح بارتباط مواد خاصة بسطح الخلية.

تؤدي الضغوط البيئية الانتقائية دوراً واضحاً في استمرار وجود بعض الزمر الدموية. فعلى سبيل المثال، يُمكن «دفي» Duffy، وهو مستقبل زمرى دموي، أنواعاً معينة من الطفيليات الخاصة بالمalaria من الدخول إلى الخلايا الحمر. لذلك نجد في بعض مناطق الملايا في إفريقيا أن السكان الفاقدين عامل «دفي» يكتسبون قدراً من الحماية ضد الملايا، وهذه ميزة واضحة تساعد على البقاء.

لا نعلم حتى الآن وظائف عوامل الزمرتين A و B (الزمرة O لا تحوي عاملي A أو B)، ومن المحتمل أن تكون مهمة بطريقة ما، كونها تظهر على العديد من الخلايا والنسج، إضافة إلى خلايا الدم. كما أنها تجول في البلازما. يضاف إلى ذلك، أن الفوارق الإحصائية في تواتر بعض الخبايا malignancies المترافقة مع الزمر A أو B أو O تشير إلى أن لهذه العوامل دوراً في هذه الأمراض.

WHAT IS THE ROLE OF THE DIFFERENT BLOOD TYPES? (٧)

لِمَ يعتبر ضغط الدم الطبيعي أقل من 80/120 ولم لا تتغير هذه القراءة تبعاً لطول الشخص؟

أو إذا كان الضغط الانبساطي 75 أو أكثر. وتزداد الإصابة طردياً بازدياد ارتفاع ضغط الدم، لذلك فإن قياس ضغط الدم 80/120 يعتبر مؤشراً معقولاً كي تراجع صاحبه الطبيب بشأنه، وذلك بهدف الحيلولة دون استمرار ارتفاع ضغطه مع مرور الزمن.

وفي الحقيقة، فإن ضغط الدم يزداد مع طول صاحبه وذلك لضمان وصول الدم والأكسجين إلى أعلى نقطة في جسمه طوال يومه. لكن هذه الزيادة في ضغط الدم مع الطول قليلة جداً؛ ولهذا فإن القراءة 80/120 لا تُعدّل بالنسبة إلى الأشخاص الطويلي القامة.

Why is normal blood pressure less than 120/80? Why don't these numbers change? (٧)

أجاب عن هذا السؤال «A. B. كلاين» استشار أول للمعاهد الوطنية للقلب والرئة والدم في المعاهد الوطنية للصحة، حيث قال:

إن تحديد قياس الضغط الطبيعي (80/120) غير معروف السبب، وإن القراءة العلوية هي قراءة الضغط الانقباضي systolic التي تعني الضغط داخل الشرايين خلال ضخ الدم من القلب، والقراءة السفلية هي قراءة الضغط الانبساطي diastolic وهي قياس الضغط في الشرايين عندما يكون القلب في وضع راحة ويعاد ملؤه بالدم. وهذا الأمر صار معروفاً منذ أوائل القرن العشرين من خلال بيانات فحوص التأمين على الحياة. وقد أثبتت الدراسات أن إصابة القلب أو الدماغ تزداد عند البالغين إذا كان الضغط الانقباضي 115 أو أكثر.

كيف يمكن استرجاع ملفات حاسوبية بعد حذفها؟

يجيب عن هذا السؤال «C. شيلدرز» أستاذ علم الحاسوب في جامعة جورج تاون:

يمكن استرجاع الملفات «المحذوفة» لأنها في واقع الحال تبقى موجودة على الأقل لفترة بعد الأمر بحذفها. وسبب ذلك هو أنه أسرع وأكثر كفاءة للحواسيب أن تكتب فوق بيانات موجودة وذلك عند الضرورة فقط، عندما لا يكون هناك فراغ متاح في الذاكرة لكتابة بيانات جديدة.

يُخزّن الحاسوب المعلومات في مجموعات مكتظة تسمى قطاعات sectors، ويمكن أن يكون ملف مكتوباً على عدة قطاعات، وقد تكون هذه القطاعات منتشرة حول القرص. ويحتفظ نظام التشغيل بفهرس يبين انتهاء القطاعات المختلفة للملفات، كما يحتفظ بدليل يربط أسماء الملفات بمداخل الفهرس.

فعندما نحذف مستخدماً ملفاً، فإن مدخله في الدليل يُنقل أو يُعلم على أنه محذوف. لذلك فإن الملف المحذوف يمكن استعادته.

إذا كانت بيانات الفهرس والقطاعات الخاصة به لم تستخدم بعد مثل هذا الاسترجاع سهل لنظم التشغيل التي تُعلم ببساطة على مداخل الدليل أنها محذوفة. ويقوم برنامج يسحق الدليل لمعرفة المداخل المحذوفة ومن ثم يعرض قائمة menu بالملفات التي يمكن استرجاعها. وفي أنماط أخرى من النظم، يمكن الاسترجاع أكثر صعوبة. فقد تضيع مداخل الدليل، مما يسبب صعوبة أكثر في الحصول على الملف، ولا بد لبرنامج الاسترجاع من أن يتصفح جميع بيانات الفهرس وأن يجنّع ملفاً ملئاً من مختلف القطاعات؛ لأن بعض القطاعات ربما تكون من تلك التي أُعيد استخدامها؛ ومن ثم لا يمكن بشكل عام استرجاع سوى بعض أجزاء الملف. للحصول على مقالة كاملة في هذا الموضوع وإجابات أخرى من العلماء في مجالات متعددة، يمكن «زيارة» الموقع www.scium.com/askexpert.

How can deleted sectors on disk be removed at a later date? (٧)

Revised (٧) (إعادة)

بدايات الفكر الحديث^(١)

توحي اكتشافات مثيرة للجدل بأن جذور فكرنا، الذي نتباهى به، تمتد إلى أعماق تتجاوز كثيرا ما يُظنّ على نطاق واسع.

(K. ورنك)

انفجار سلوكي أعظم^(٢)

تؤكد معظم التفسيرات أن «أصل الإنسان العاقل»^(٣) الحديث تشريحيا كان إفريقيًا صرفًا. فالستحاثات (الأحافير) التي كشفت النقاب عنها عام 2003 في منطقة هيرتو^(٤) بإثيوبيا، يعود تاريخها إلى قبل 160 000 سنة. وفي الشهر 2005/2 أعلن الباحثون أنهم حددوا تاريخ بقايا إنسان عاقل في موقع آخر في إثيوبيا اسمه أومو كيبيش Omo Kibish، ومن المحتمل أن يرجع هذا التاريخ أصل نوعنا البشري إلى 195 000 سنة خلت.

والأقل وضوحًا بكثير من هذا هو تحديد التاريخ الذي أصبح فيه نوعنا البشري معاصرًا في فكره. فخلال العديدين الماضيين، كانت وجهة النظر السائدة هي أن البشرية اجتازت طفرة سلوكية قبل نحو 40 000 سنة. وقد اعتمد العلماء في تقديرهم هذا، في المقام الأول، على الآثار الثقافية لأوروبيي العصر الجليدي. وفي أوروبا، يُقسّم سجل الآثار المتصلة بهذا الموضوع إلى العصر الباليوليتي الأوسط^(٥) (الذي انتهى قبل أكثر من نحو 40 000 سنة) والعصر الباليوليتي الأعلى^(٦) (الذي بدأ قبل نحو 40 000 سنة)، وقد لا يكون الفرق بين هذين العصرين كبيرًا جدًا. وفي الحقيقة، يبدو أن الناس في العصر الباليوليتي الأوسط قد صنعوا، في الأغلب، نفس الأدوات الحجرية البسيطة نسبيًا، التي كان الناس يصنعونها طوال عشرات الآلاف من السنين. وفي المقابل، فإن الناس في العصر الباليوليتي الأعلى كانوا روادًا في سلسلة من الممارسات المعقدة. فبلمحة عين جيولوجية، قام الناس، من وادي الرين إلى السهل الروسي، بإنتاج أسلحة متطورة وتكوين شبكات طرق تجارية لمسافات بعيدة، وأخذوا في التعبير عن أنفسهم من خلال الفن والموسيقى. ويمكن القول إنهم انخرطوا، عموماً، في جميع أنماط الأنشطة التي يربطها علماء الآثار عادة بالحدثة. وقد مثل ذلك، من جميع الأوجه، الطفرة الكبرى إلى الأمام^(٧) وربما لم يكن بمحض المصادفة أنه خلال الانتقال من العصر الباليوليتي الأوسط إلى الأعلى، بدأ البشر الحديث المظهر بأشهار مطالبهم بأوروبا، التي كانت حتى ذلك الحين منطقة «بائترة تال»^(٨) تمامًا.

في كيب تاون، بجنوب إفريقيا، يقوم «C. هنتشيلوود» بإفراغ كيس بلاستيكي صغير ويناولني مربعًا من ورق مقوى رثّ أزرق اللون وضعت عليه 19 قوقعة (صدفة) مرتبة في ثلاثة صفوف أفقية حجم كل منها لا يتجاوز نواة حبة من القمح. قد يبدو هذا المنظر لشخص من عامة الناس شيئًا عاديًا غير لافت للنظر، إذ إنه مجرد بضعة دروع رخويات بليدة الحركة يتحول لونها إلى الرمادي مع تقدمها في السن. لكنها قد تكون في الواقع أشمن من المحتويات البارقة لعلية مبطنة بقماش مخمل من إنتاج مصمم المجوهرات الفرنسي الشهير «كارتييه».

إن القواقع، التي اكتشفت في كهف يسمى بلومبوس Blombos ويقع على بعد 200 ميل شرق كيب تاون، متماثلة تمامًا في الحجم، ويوجد على كلٍّ منها ثقب في نفس المكان المقابل للفم. هذا ما ذكره «هنتشيلوود»، وهو عالم آثار في جامعة بيركنز بالتروبيج، يعتقد هذا العالم أن هذه القواقع جمعت وتُقبِت من قبل أناس قبل نحو 75 000 سنة ليصنعوا منها حبالًا مجدولًا من الخرز اللماع الشبيه باللؤلؤ. وإن صحَّ قوله، فإن هذه القواقع المتواضعة هي جواهر تاج البشرية - إذ إنها في هذه الحال أقدم دليل قاطع لا لبس فيه على أقدم زينة صنعتها الإنسان حتى الآن. كما أنها برهان على أن أسلافنا كانوا يفكرون مثلنا، وذلك في وقت أبكر بكثير مما يظن الناس على نطاق واسع.

نظرة إجمالية/ تفكير نام^(٩)

- كان علماء الآثار يتصورون أن الإنسان العاقل صار يملك فكرا حديثا بسرعة ومنذ عهد قريب، وذلك في وقت ما خلال السنوات 50 000 سنة الماضية، بعد أكثر من 100 000 سنة من بلوغه الحدائق التشريحية anatomical modernity.
- لكن مكتشفات جديدة في إفريقيا تشير إلى أن قسما كبيرا من عناصر السلوك البشري الحديث يمكن تعقبه لدى العودة بالزمن كثيرا إلى الوراء.
- هذه المكتشفات توحي بأن الإنسان العاقل كان يملك في بواكيره عقلا حادقا، وأنه لم يكن يستعمل عقله المبدع إلا إذا كان ذلك مفيدا، عند ازدياد عدد السكان مثلا.
- لكن الإنسان العاقل لم يكن هو الإنسان البدائي الوحيد الذي يمتلك مثل هذه المعرفة المتقدمة، إذ تشير بعض الصناعات البدوية إلى أن النياندرتاليين لا يبقون موهبة عنه.

THE MORNING OF THE MODERN MIND (١)

Overview Evolved Thinking (٢)

A Behavioral Big Bang (٣)

Herto (٤)

Homo sapiens (٥)

(Upper Paleolithic Age) (٦)

Middle Paleolithic Age (٧)

Great Leap Forward (٨)

الآركيولوجيون (٩)

Neanderthal region (١٠) وهي قريبة من دوسلدورف بألمانيا حيث وجدت بقايا هيكل عظمي لإنسان قديم (التحذير)



ربما يكون التزيين بالصبغات وطلاء الأجساد قديما في وقت أبكر بكثير مما كان يُظن سابقا، وتُضخّم الدلائل المبكرة على استعمال مثل هذه الرسوم - التي يعتقد كثير من علماء الآثار أنها عنصر رئيسي للسلوك البشري الحديث - خزائن صدفية عمرها 75 ألف سنة (في النيسار) وجدت في كهف بلومبوس بجنوب إفريقيا.

٢١ بذور التغيير

يبدو أن ثمة عددا قليلا، لكن متزايدا، من علماء الآثار الذين تجنبوا، في السنوات الأخيرة، نظريات الانفجار الأعظم^(١) في نشوء الثقافة لصالحه نموذج مختلف جوهريا. ويعتقد مؤيدوهم أنه لم تكن هناك مدة زمنية فاصلة بين الجسم والدماغ. وهم يؤكدون أن السلوك البشري الحديث تكوّن خلال مدة طويلة في عملية يمكن وصفها بطريقة أكثر ملاءمة بأنها تطور أكثر من كونها ثورة. ويعتقد بعض الباحثين أن الحداثة المعرفية^(٢) ربما تطورت في أنواع بشرية أخرى، مثل النياندرتالين.

إن الفكرة التي مفادها أن للإبداع الفريد نوعا البشري جذورا قد تمتد إلى أقدم العصور الجيولوجية، ليست جديدة؛ فلسنوات عدة كان العلماء يعرفون قدرا ضئيلا من الأشياء، التي توجي بأن البشر كانوا ينخرطون في ممارسات حديثة تسبق بمدة طويلة أول مرة قام فيها الإنسان العاقل بالرسم على جدار كهف في فرنسا. ويضيف

Middle Stone Age (١)
Neolithic (٢)
Kung San (٣)
cognitive modernity (٤)

Rains of Change (٥)
Later Stone Age (٦)
Enkapene Ya Mulo (٧)
Big Bang Theories (٨)

ومع أن هوية صانعي المنتجات البدوية البشرية المبكرة في العصر الباليوليتي الأعلى غير معروفة على وجه التاكيد، بسبب الافتقار إلى مخلفات بشرية في تلك المواقع، فإنه يُفترض تقليديا بأنهم نوع بشري حديث تشريعبا وليسوا نياندرتالين. وهكذا ظن بعض الباحثين أن المواجهة بين هاتين المجموعتين من البشر استنهضت في الغزاة قدرة إبداعية كانت هاجمة حتى تلك الحين.

ويحتاج متخصصون آخرون في أن الانفجار الثقافي الواضح في أوروبا حدث نتيجة انتقال تم في وقت أبكر إلى حد ما في إفريقيا، ويؤكد (G. ٨٥٠ كلارين) [من جامعة ستانفورد] أن التغيير السريع من العصر الباليوليتي الأوسط إلى العصر الباليوليتي الأعلى يعكس صورة تحول جري من 5000 إلى 10 000 سنة قبل في إفريقيا، حيث تسمى المرحلتان الثقافتان المقابلتان العصر الحجري الأوسط والعصر الحجري المتأخر. والقوة الدافعة لهذا التغيير لم تكن مواجهة مع نمط آخر من كائنات شبيهة بالإنسان^(٣) (لأنه بحلول ذلك الوقت في إفريقيا لم يتعرض نوعنا البشري إلى منافسة مع أنواع بشرية أخرى)، إنما كانت القوة الدافعة طفرة جينية حدثت قبل 50 000 سنة وغيرت السيرورات العصبية، وبذلك أطلق العنان لقوى أسلافنا الإبداعية.

والدليل الرئيسي على صحة هذا النموذج يأتي - على حد قول «كلارين» - من موقع في وسط كينيا يسمى إنكاپون ياموتو^(٤)، أي «كهف الشفق»، الذي يحده بداية العصر الحجري المتأخر بأنها كانت قبل 45 000 إلى 50 000 سنة. ففي هذا الموقع، عثر «إمبيرور» [من جامعة إلينوي] وفريقه، على سكاكين مصنوعة من زجاج بركاني أسود ومكاشط بحجم ظفر الإبهام. والأهم من هذا، أنهم وجدوا خزائن لها أشكال أقراص صغيرة صنعت من قشور بيض النعام في العصر الحجري المتأخر يعود تاريخها إلى 45 000 سنة خلت. وفي هذه الأيام، مازال بحري بين القنصين-الجماعين في كونك سان^(٥) بيوتشواتا تبادل هدايا بشكل جدائل مكونة من خزائن متماثلة ويفترض «إمبيرور» أن صنّاع الخزائن القداسي في إنكاپون ياموتو قد انتجوها لنفس السبب، وهو تعزيز العلاقات الجيدة بمجموعات أخرى لحمايتهم في الأوقات العصيبة. وإذا كان الأمر كذلك، فإن «كلارين» يرى أن ثمة قدرة جينية للتواصل بواسطة الرموز - انسجاما مع المهارات المعرفية لتوليد تقانات أفضل للصيد واستعمال الموارد - ربما كانت هي التي مكّنت نوعنا البشري أخيرا، بعد نحو 150 000 سنة من نشوئه، من الانطلاق من قارته الأم لاكتساح العالم.

الأشخاص الذين أتوا فيما بعد ذلك العصر.

ثمة مواقع أخرى في العصر الحجري الأوسط، مثل G (ترمز * إلى قرقة صوتية) في صحراء كالاهاري ببوتسوانا، يعود تاريخها إلى 77 000 سنة خلت، وقد وجد فيها بقايا حيوان «مقتول» وهذا يخلص زعما آخر غالبا ما كان يردده البعض، وهو أن قدامى البشر لم يكونوا يحسنون الصيد مثل أولئك الذين عاشوا في العصر الحجري المتأخر. ويبدو أن سكان الموقع G كانوا يطاردون بانتظام فرائس ضخمة وخطرة مثل حمار الوحش والخنزير الإفريقي. وقد اقترحت J.B. ديكون «من جاماعة ستيلينبوش» أن البشر في بعض المواقع، مثل كهف صنب نهر كلايس بجنوب إفريقيا، كانوا قبل أكثر من 60 000 سنة يحرقون عمدا الأراضي العشبية تمهيدا لتكاثر بعض الدرنات الجذرية المغذية، التي يُعرف أنها تُفَرَّغ بعد تعرضها للنار.

وتشير بعض المكتشفات إلى أن أنماطا معينة اشتهرت بالحداثة السلوكية قد نشأت حتى قبل ظهور الإنسان العاقل. وفي أواخر صيف عام 2005، كشفت الحفريات التي أجراها فريق «حكا بريتي» في موقع قريب من بحيرة بارينكو في كينيا شفرات حجرية - كانت في وقت من الأوقات سمة مميزة لمواد العصر الباليوليتي الأعلى - عمرها أكثر من 510 000 سنة. وفي موقع قريب، اكتشف فريقها أيضا، في طبقات من الأرض عمرها 285 000 سنة على الأقل، كميات كبيرة من أكسيد الحديد المائي

الأحمر" مع مجالغ حجرية لشحذها، وقد رأت «حكا بريتي» في هذا إشارة إلى أن سكان بارينكو في العصر الحجري الأوسط كانوا يستعملون مواد ثلوية لأغراض رمزية - لتزيين أجسادهم، مثلا - تماما كما يفعل كثير من الناس في أيامنا هذه. (بارينكو ليس الموقع الوحيد الذي يزودنا بشواهد قديمة مذهلة على جلب أكسيد الحديد، إذ إن كهف النهرين التوامين" في زامبيا وفر مواد مشابهة تعود إلى أكثر من 200 000 سنة.) وتتضمن مجموعة من العُدد عمرها 130 000 سنة، وُجِدت في الموقع المسمى صاوي صخرة عومبا" في تنزانيا، رقاقت صنعت من زجاج بركاني أسود كان يندفع في مجرى بركاني يبعد عن ذلك الموقع نحو 200 ميل، وهذا دليل قاطع على أن الكائنات الشبيهة بالإنسان التي صنعت هذه الأدوات كانت تقايفها بمواد أولية غريبة مع مجموعات أخرى.

بيد أن النقاد رفضوا هذه المكتشفات بناء على الشكوك المحيطة بتاريخها في بعض الحالات، وعلى مقاصد صانعيها في حالات أخرى. ويرى المشككون أن أكسيد الحديد ربما كان يستعمل بوصفه

العلماء، إلى تلك الرسوم ثلاثة رماح خشبية من شونتكن بألمانيا عمرها 400 000 سنة؛ وما يُزعم بأنه تمثال صغير من موقع يسمى بيريكسات رام في فلسطين عمره 233 000 سنة؛ وقطعة من الصوان مثلمة الحافات مع أقواس متحدة المركز من القنيطرة في سوريا عمرها 60 000؛ وقطعتين من العظام المثلمة من كهف صنب نهر كلايس بجنوب إفريقيا عمرهما 100 000 سنة؛ ولوحا مصقولا مصنوعا من (سنان غيل الماصوث الضخم من تاتا Tita بالجر يراوح عمره بين 50 000 و 100 000 سنة. بيد أن كثيرا من علماء الآثار ينظرون إلى هذه البقايا بارتياح، إما لأن أعمارها غير موثوقة، وإما لأن أهميتها غير واضحة. وكل أمارة على عقل متقدم بدا قديما حقا، فُسِّرت بأنها نتاج عبثي بين مجموعة من الأشخاص المتوسطي القدرات.

وقد أصبح الدفاع عن هذا أكثر صعوبة بسبب المجموعة المتزايدة من الأدلة في إفريقيا على أن التحول الشكلي العقلي في أسلافنا بدأ قبل بداية العصر الحجري المتأخر بكثير. وفي مقالة عنوانها «الثورة التي لم يكن لها وجود» تفسير جديد لنشأة السلوك البشري الحديث"، أعلنت مؤلفاتها موقعيهما من هذا الموضوع - فهما تحاججان في أن كثيرا من مكونات السلوك البشري الحديث، الذي يقال بأنه ظهر قبل ما يراوح بين 40 000 و 50 000 سنة، يمكن رؤيتها قبل ذلك بعشرات الآلاف من السنين في بعض المواقع خلال العصر الحجري الأوسط. إضافة إلى ذلك، فإن كثيرا من هذه المكونات لا تبدو أنها أتت دفعة واحدة، بل تدريجيا، وذلك في مواقع مبعثرة هنا وهناك، وفي أزمنة بعيدة عن بعضها بعضا.

وفي ثلاثة مواقع في كاتاندا Katanda بجمهورية الكونغو الديموقراطية، وجدت بروكس و«د بلين» [من المعهد السميثسوني] رمحا معقدة مزودة بأشواك لصيد الحيتان مصنوعة من العظم، ويقولان إن هذه الرماح تعود إلى 80 000 سنة على الأقل، وهذا يجعلها تنتمي إلى العصر الحجري الأوسط. وتظهر تلك المصنوعات اليدوية مستوى من التعقيد ليس أدنى من ذاك الذي شوهد في الرماح التي عمرها 25 000 سنة، والتي صنعت في أوروبا. وهذا المستوى لا يقتصر على تعقيد تصميم ذلك السلاح فحسب، وإنما يتضمن أيضا اختيار المادة الأولية التي صنع منها؛ فاستعمال العظام والعاج في صناعة الأدوات كان يُظن أنه لم يحدث إلا بحلول العصر الباليوليتي الأوسط والعصر الباليوليتي الأعلى. إلى ذلك، وُجِدت بقايا أسماك السَلُور الفيلية العملاقة على بعض رماح كاتاندا، وهذا يوحي للمفكرين عن الآثار بأن الناس كانوا يذهبون إلى هناك في موسم وضع الأسماك ليبيضها - وهذا نوع من التخطيط الموسمي للموارد كان يُظن سابقا أنه مقصور على



قواقع حلزونية جُمعت من مصب نهر يبعد نحو 12 ميلا من كهف بلومبوس، ثم قُطبت بوساطة محرر عظمي. وتدل علامات البري (الاهترأ) حول الثقوب على أن هذه القواقع قد نُظمت معا ربما لتكون عقدا أو سورا.

The Revolution That Wasn't: A New Interpretation of the origin of Modern Human (١)
The Revolution That Wasn't: A New Interpretation of the origin of Modern Human (١)
From Rivers Caves (٣)
red ochre (٢)
Mumukshu Bhawan Varanasi (١)

إبداعات العصر الحجري



أظهرت المكتشفات الأثرية في إفريقيا أن عناصر السلوك البشري الحديث ربما برزت قبل أكثر من 40 000 سنة (انظر المخطط في الأعلى)، وهذا يخالف ادعاءات سابقة مبينة على السجل الأوروبي. لكن الخبراء متفقون على أن ثمة عدداً كبيراً بكثير من الأشخاص كانوا منخرطين في هذه الممارسات بعد ذلك التاريخ وليس قبله. وقد وضع عدد من الفرضيات لمعالجة هذه النقطة الدقيقة - لا تستثنى بعضها البعض الآخر (في الأسفل).

تقانة القذائف projectile technology إن ابتكار أسلحة القذائف ما بين 45 000 - 35 000 سنة خلت سمح للبشر بقتل طرائد ضخمة - وبشر آخرين - من مسافة هائلة. ويقول «د شيا» (من جامعة ستوني بروك) إن هذا وفي الناس حافزاً قويا للتعاون فيما بينهم، وهذا بدوره عزز تطوير شبكات اجتماعية أمكن بواسطتها تبادل المعلومات بسرعة.

النمو السكاني *Population growth* عانت الطرق العديدة لدراسة وتختفي من الوجود في أوقات مختلفة. وفي اسكنة مختلفة، إلى أن وصل الحجم السكاني إلى كتلة حرجية *critical mass* عند هذه النقطة، أسفرت المواجهات بين المجموعات والثقافات فيما بينها على الموارد عن إحداث سلوك رمزي، كما حلزت الابتكار الثقافي. وهذا ما يؤكد باحثون، من ضمنهم د. بروس، (من جامعة جورج واشنطن) و د. ماك بيريتي (من جامعة كولومبيا) ومع زملاءه، بعدة الأبحاث والممارسين ضد السلوك انشعابي يستبدون به بدلاً من سلوك المواجهات المفضلة التي تؤدي إلى التوافق المجتمعات حتى آخر دليل.

الطفرة الدماغية **Brain mutation**. كان لطفرة جينية حدثت قبل نحو 50 000 سنة أرموات تختص عن تعبير نظام الاتصالات في الدماغ البشري بحيث أصبح قادرا على التفكير الرمزي بما في ذلك اللغة ؛ هذا ما يشاهد فيه G. G. غالينز [من جامعة ستانفورد] وهو يرى أن البشر الذين مروا بتلك الطفرة مرارة صعبة على أولئك الذين لم يولدوا بها، ثم انهو بوضعهم وحلوا محلهم.

الرمزية Symbolism. إن ابتكار الخزن الخارجي للمعلومات سواء كانت تتعلق بالجواهر، أم باللغة أم بالآلات، كان نقطة انطلاق في تطور السلوك البشري، هذا ما يقوله «هشيلوود» من جهة بركن «التربيع» وقد يكون الإنسان العاقل امتلاك الأدوات اللازمة للتفكير الرمزي بحلول القرنين الثاني عشر الميلادي، الإنسان، وذلك قبل نحو 195 سنة على الأقل، ويتضح ذلك عند إلقاء نظرات سريعة، من وقت إلى آخر، على السجل الأركيولوجي. ولكن في ذلك الوقت، وفيه فقط الذي أصبح فيه الترميز الأساس في التحقير السلوكي البشري - الذي يؤدي مثلاً إلى تكوين شبكات تجارية متداخلة - تمتص الابتكارات العاملة لهذه الرمزية.

كارثة بيئية Ecological disaster. توجي البيانات الجينية بأن الإنسان العاقل قد مر بعنق الزجاجة قبل نحو 70 000 سنة. ويفترض A.M. أنمرور¹ أن جماعته [إيثوبي] ازاح الإسماع الذي انقهرت نتيجته انقراض لجيل ثوبا Mount Toba يسومطرة في ذلك الوقت تقريبا، ربما خلفت نشاء بركانها مدعرا استمرت ست سنوات، ألقية عصر جليدي مدته 1000 سنة. وهؤلاء الأفراد الذين تعاونوا وتقاسموا الموارد فيما بينهم - خارج حدود مجتمعاتهم المحلية - كانوا أفضل الناس استعدادا للنجاة في البيئة القاسية التي عاوتها، وقد مرت جيناتهم عبر الأجيال اللاحقة. وهذه الظروف المتطرفة دعمت في عنقها الانتقال من مستوى الفوج troop level إلى مستوى القبيلة.

عصر حجري مبسوط من الصخر وهو واحد من أكبر
أقدم القطع المعروفة للنقش الرمزي وقد وجد في
كهف جين جلفر «Jin Jelf Cave»
تقريباً 30-25 ألف سنة

مادة لاصقة لتثبيت النصال على المقابض الخشبية، أو بوصفه مادة
مضادة للجراثيم تستعمل لمعالجة جلود الحيوانات.

أذكاء بالنسبة إلى عصرهم

إن هذا الجو العام للجدل، الذي طال أمده، هو الذي سلط
الأضواء على المكتشفات في بلومبوس. ففي عام 1991، عثر
«هنشيلوود» على تراكبات أثرية في كهف بلومبوس، وذلك عندما
كان يبحث عن مواقع ساحلية أحدث ليُجري فيها حفرياته من
أجل حصوله على التكتوارة. كان هذا الكهف، الواقع قريباً من
مدينة Still Bay في الرأس الجنوبي لجنوب إفريقيا على جرف
عالي يطل على المحيط الهندي، يصوي بضغ قطع صنعت في
العصر الحديث^(١) كان يبحث عنها لكنها كانت تبدو وفيرة بين
مواد العصر الحجري الأوسط. لكن هذا كان خارج مجال بحثه
في ذلك الحين. بيد أنه وفر التمويل اللازم لعودته إلى بلومبوس
عام 1997 ليشعر في حفرياته بجدة. ومنذ ذلك الوقت، استخرج
«هنشيلوود» وفريقه من الأرض مجموعة مذهلة من أدوات
متطورة وأشياء رمزية، وهم، بعملهم هذا، رسموا صورة للبشر
القدامى الذين كانوا يفكرون مثلنا.

وقد استُخرج من طبقات أرضية يعود تاريخها - الذي حُسب
بعدة طرق - إلى 75 000 سنة خلت، عدد كبير من الأدوات المتقدمة،
من ضمنها 40 أداة عظمية، كثير منها مخارز (مناقب) جيدة الصنع،
ومئات من رماح ثنائية الوجه مستدقة الأطراف مصنوعة من
السيلكريت^(٢)، وأحجار يصعب إعطاؤها شكلاً محدداً، ربما كان
يستخدمها سكان بلومبوس لصيد البقر الوحشي وطرائد أخرى
كانت تجوب تلك المنطقة. وكان لايزيد طول بعض الأدوات المستدقة
الأطراف على إنش واحد، وهذا يوجب أنها ربما كانت تُستعمل
كقذائف. وتبين عظام أنواع مختلفة من الأسماك التي تعيش في
أعماق البحار - عمر أقدمها قد يتجاوز 130 000 سنة - أن قاطني
بلومبوس كانوا يملكون التجهيزات اللازمة لاصطياد أحياء مائية من
المحيط يزيد وزنها على 80 باونداً.

وتشير مواقع الطبخ إلى أن منطقة الكهف كانت مأهولة، كما تظهر
الأسنان التي تعود إلى بالغين وأطفال، أنه كانت تقيم هناك أفراد
عائلة. لكن وجود عدد كبير من الأدوات الحجرية المستدقة الأطراف
جعل «هنشيلوود» يفكر فيما إذا كان يوجد في الكهف أيضاً ورشة
لتصنيع هذه الأدوات، حيث يقوم الكبار بتعليم الصغار طريقة صنعها.

ربما يكون هؤلاء قد مارسوا تقاليد أخرى أيضاً، وأهم شيء
اكتُشف في بلومبوس هو ذاك الذي يبين أن سكانه كانوا يفكرون
رمزياً. وحتى الآن، عثر الفريق على قطعة واحدة من العظم المحزّن،
وتسع شرائح يُحتمل أنها من أكسيد الحديد الأحمر، ودستات من
الخرز الصغير - وجميعها مأخوذة من نفس الطبقات الأرضية
التي يبلغ عمرها 75 000 سنة، والتي وجدت فيها العدد. إضافة
إلى ذلك، فإن الترسبات التي يتجاوز عمرها 130 000 سنة تحتوي
على مقادير كبيرة من أكسيد الحديد المصنّع، وقد اتخذ بعضها
شكل أصابع من الطباشير.

ربما لن يعرف العلماء أبداً ما تعنيه بالضبط هذه الأشياء المبهمة

Smart for Their Age (٤)
Haldane (١١)

grosz (٢)

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

١٩٩١

تخطيط الحداثة

وتبين مكتشفات حديثة، ومن ضمنها تلك التي استُخرجت من كهف بلومبوس جنوب إفريقيا، أن كثيرا من الممارسات المتطورة لم تنشأ قبل نحو 40 000 سنة فقط، وإنما قبل مدة طويلة، وذلك في مواقع خارج أوروبا، وهذا يوحي بأن الناس كانوا يكافلوننا معرفيا وذلك بحلول الزمن الذي بلغوا فيه الحداثة التثريجية، إن لم يكن قبل ذلك. وفي الحقيقة، فإن كون بعض التبادلات بين على الأقل، لقروا رمزيا، يجعل من الممكن وجود مثل هذه القدرات في آخر سلف مشترك للتبادلاتيين وللإنسان العاقل. وبين المخطط السفلي المواقع التي ورد ذكرها في هذه المقالة.

ظهر النوع البشري الذي يشبهنا قبل 195 000 سنة، هذا ما تؤيده مستحضات الإنسان العاقل التي استُخرجت من موقع أوموكيميش باليونان. لكن علماء الآثار يرون أن البشر لم يشعروا في انتهاز سلوك مماثل لسلوكنا إلا بعد ذلك بنحو 150 000 سنة. وتنشأ هذه الفكرة، إلى حد بعيد، عن المخلفات الثقافية المكتشفة في أوروبا، حيث ازدهر الفن والمطبخ، وحصلت الخدمات الثقافية وأسماء أخرى تدل على التفكير الحديث. وكان ذلك مفاجئا ولافتا للخطر قبل نحو 40 000 سنة، أي تقريبا، في الوقت الذي بدأ فيه النوع البشري الحديث تشرجيا باستيطان أوروبا.



من مجموعة من سبع
التبادلاتيين عرفت 22-999
سنة، وقد هي (أرضي سوك)
قار بارتينا



أقدم تشظي على استعمال الحداثة في إفريقيا، نحو 75 ألف سنة
22 000 سنة، وقد هي (أرضي سوك) قار بارتينا

نحو 60 000 سنة خلت، والمكتشفات التي عثر عليها في لويانغانتي Loiyangalani في تنزانيا، حيث وجد العاملون خرزات من قشور بيض النعام عمرها نحو 70 000 سنة.

بيد أن المشكلة التي تظل قائمة تتجلى في أن معظم مواقع العصر الحجري الأوسط تبدي قدرا ضئيلا أو لا شيء من السمات التي يستعملها الباحثون كي يحددوا تماما المعرفة المتنامية في السجلات الأركيولوجية. ومع أن ثمة عدة مواقع أخرى - في جنوب إفريقيا، مثلا - وقررت للباحثين أدوات مستدقة الطرف ذات وجهين، فإنها لا تقدم دليلا على وجود سلوك رمزي وبالطبع، فإن العبارة التي يحب المؤرخون ترديدها، وهي أن عدم اكتشاف الدليل ليس دليلا على عدم وجوده، صحيحة؛ إذ إن من المحتمل أن يكون الناس الذين عاشوا في تلك المواقع ابداعوا فناً وزينوا أجسادهم، لكن لم يبق منها على صر الزمن سوى أدواتهم الحجرية.

ربما كان النمط Patterن الذي اتضح لنا حتى الآن في السجل الإفريقي، والذي يتمثل في لحات سريعة وقصيرة الأمد عن الحداثة المعرفية السابقة لنشو، العصر الحجري المتأخر ودلالات عامة على هذه الحداثة بعد ذلك، إنما هو مجرد كونها مصنوعة من مصنوعات الإنسان القديم حظيت بالبقاء، أو العدد الضئيل نسبيا من المواقع الإفريقية التي أجريت فيها حفريات حتى الآن. ومرة أخرى، فقد يكون هذا الذي يحدث على نحو متقطع هو بالضبط ما يتعين على علماء الآثار توقع رؤيته إذا كان الإنسان العاقل الحديث تشرحيًا قد امتلك القدرة على انتهاز السلوك البشري الحديث، لكنه لا يمتلك تلك القدرة إلا عندما يرى فيها فائدة تعود عليه بالنفع، وهذا ما يراه كثير من المؤمنين بنظرية التطور التدريجي.

ويقترض «ماك بريتي» وآخرون أن أكثر الظروف ملائمة لإظهار أنماط السلوك المتقدم ثقافياً، هي تلك المنسوبة إلى حجم سكاني كبير فتكاثر السكان يوجه ضغطا أكبر على الموارد، مما يجبر أسلافنا على ابتكار طرق تتسم بذكاء أعلى لتأمين الغذاء والمواد اللازمة لصناعة التجهيزات، ثم إن وجود عدد كبير من الناس صعد فرص المواجهات بين المجموعات المختلفة. وقد يكون الخرز وطلاي الأجساد وحتى صناعة الأدوات باتباع أساليب معينة، مجرد مؤشرات إلى انتماء فرد إلى عشيرة معينة ووضعه الاجتماعي فيها، وهذا أمر مهم جداً عند امتلاك موارد محدودة. وربما أدت الأشياء الرمزية دور مخفف للاحتكاكات الاجتماعية خلال الأوقات العصيبة.

ويقول «هنشيلوود»: «عليك أن تفعل خيرا للمجموعات المحيطة بك، لأن هذا هو الطريق الذي يسمح لك بالحصول على شركاء، فإذا كان

لصانعيها، بيد أن أهميتها لهم كانت شيئاً واضحاً، وقد أظهرت التحليلات الطويلة والرهقة لقطعتين من أكسيد الحديد المنقوش، والتي أشرف عليها «دريكو» [من جامعة بورندو بفرنسا] أن الصخور التي لها لون الصدا كانت تُشحذ يدويا في أحد جانبيها بغية تشكيل سطح صغير، يُخَرشُ بعد ذلك عدة مرات بأداة حجرية مستدقة الطرف. أما قطع أكسيد الحديد الكبرى، فكانت مظهره بخطوط سمكية وواضحة تشكل مجموعات متعارضة من المستقيمات المتوازية.

كانت صناعة الخرز عملاً يتطلب أيضا بذل جهود كبيرة. ويعتقد «هنشيلوود» أن الأصداف البحرية



قطعة من أكسيد الحديد

استُخرجت من موقع

بلومبوس، وهي منقوشة

بوساطة حجر مستدق الطرف

وربما كانت تدوينا للسجلات،

أو كانت تعمل تصعيما جماليا

ويوحي الجهد المطلوب

لتحضير هذه القطعة وحفر

العلامات بأنها عمل يستدعي

تفكيراً سابقاً، لا مجرد نشاط

عايث وغير هادف.

للمواقع من النوع ناساريوس كروسيانوس"، جمعت من مصبي نهرين يبعدان 12 ميلاً عن الكهف، ولايزالان موجودين حتى الآن. وفي مقالة نُشرت في عدد الشهر 2005/1 من «مجلة التطور البشري»، كتبها «هنشيلوود» وزملاؤه، ذُكر أن إعادة بناء تجارب العملية التي كانت تُنفذ لتقّب الأصداف، تشير إلى أن صانعي المجوهرات الثمينة كانوا يستعملون أدوات عظمية مستدقة الأطراف لاختراق الصدقة من الداخل إلى الخارج - وهذه تقنية كانت تسفر عموماً عن كسر الأصداف عندما كان أعضاء الفريق يطبقونها. وبعد تقب الخرزات، يبدو أنها كانت تُسكك في خيط لتشكيل طوق منها وتشير آثار أكسيد الحديد الأحمر الموجودة على الأصداف إلى أنها ربما كانت مستندة إلى جلود الناس الطلية بأكسيد الحديد.

ويعطى «ماك بريتي» أنه فيما يتعلق بالمستوى المعرفي المتقدم في العصر الحجري الأوسط، فإن «بلومبوس هو الدليل القاطع على تقدم ذلك المستوى، لكن «هنشيلوود» لم يقطع الجميع بتعليقه.

فقد ورد شكوك من «R. وايت» [من جامعة نيويورك وهو خبير بزيئات الأجسام التي كانت تستعمل في العصر الباليوليتي الأعلى]، مفادها أن الثقوب والسطوح التي تبدو بالية على أصداف ناساريوس هي نتيجة لسيرويات طبيعية لا لعمل يدوي بشري.

يأتي كثيرا، ويختفي سريعا

بيد أننا إذا قرأنا الأمور قراءة صحيحة، فإن المكتشفات الشهيرة في بلومبوس تقدم شواهد قوية على أن مجموعة واحدة على الأقل من البشر كانت تمتلك طاقما عقليا حديثا قبل أكثر بكثير من 50 000 سنة. وهذا يجعل الادعاءات السابقة بوجود حداثة سلوكية مبكرة أمراً سهلاً تقبله. وقد تدعم هذه الادعاءات، أيضا، المكتشفات الحديثة تلك التي حدثت في دايكلوف Diepkloof بالراس الغربي لجنوب إفريقيا التي زودتنا بقطع محززة من قشور بيض النعام يعود تاريخها إلى

تمة نظام معمول به لتبادل الهدايا، فهذا أسلوب يمكنك من الحفاظ على علاقات جيدة بغيرك» وفي الحقيقة، فإن تقديم الهدايا قد يقسر سبب الفصل الفني لبعض الأدوات التي وجدت في بلومبوس.

وبالعكس، فعندما تضال عدد السكان، تراجع مستوى هذه الممارسات المتقدمة - ربما لأن الناس العاملين فيها ماتوا، أو لأنه في غياب المنافسة لم تكن هذه الممارسات مريحة، ومن ثم طواها النسيان ويوفر أهل «تسمانيا» مثالا حديثا على هذه العلاقة. فعندما وصل الأوروبيون إلى تلك المنطقة في القرن السابع عشر، واجهوا أشخاصا ذوي ثقافة مادية أبسط حتى من ثقافة العصر الحجري الأوسط، إذ إن معظم ما كان لديهم أدوات من الرقاقات الحجرية. وفي الحقيقة، فمن وجهة نظر أركيولوجية، لابد أن تحقق تقريبا جميع اختبارات الحداثة التي تطبق على هذه المجتمعات - وتعني بها الاختبارات التي تطبق عادة على المواقع قبل التاريخية لكن السجلات تبين أن التسمانيين كانوا يقتنون قبل عدة آلاف من السنين مجموعة أكبر بكثير من الأدوات، التي كانت تتضمن عددا عظيما وشياكا للصيد، وأقواسا وسهاما. ويبدو أن التسمانيين القدامى كانوا يملكون جميع أحدث الأدوات قبل أن تعزل مستويات البحر المرتفعة جزيرتهم عن البر الرئيسي قبل 10 000 سنة، لكنهم فقدوا تقاناتهم في سياق تحولهم إلى مجموعة سكانية صغيرة انفصلت عن سكان أستراليا الأصليين.

قد يكون هذا هو السبب في أن المواقع في جنوب إفريقيا التي تعود إلى ما يراوح بين 60 000 و30 000 سنة نادرا ما تبدو حاملة لسمات الحداثة، إذ إن إعادة البناء السكاني توحى بأن المجموعة البشرية في إفريقيا ذمرت قبل نحو 60 000 سنة إثر

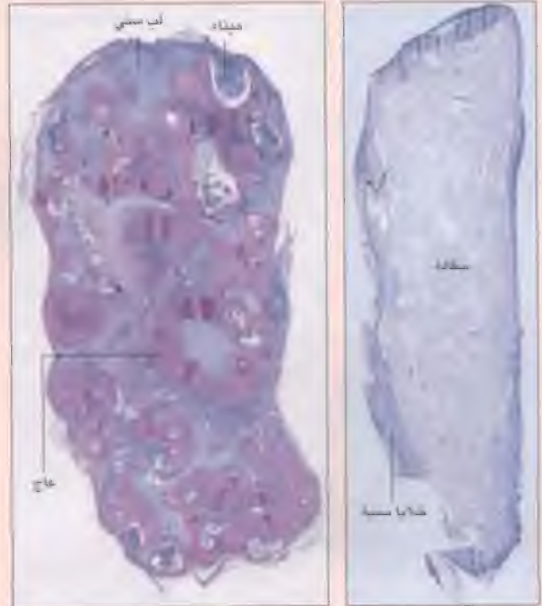


يرى الباحث <5> هنتسيلووه أن كهف بلومبوس كان جنة حقيقية عندما عاش هناك بشر قبل 75 000 سنة، وكانت ينابيع المياه العذبة سخانية لقاعدة صخرة الكهف، كما كانت هبات البحر تاتي إلى الساحة الخلفية. وكانت تجول في تلك المنطقة الغطاء الإفريقية الضخمة، التي لها لحم لذيذ المذاق، وأنواع أخرى من بقر الوحش، ثم إن الطائر كان لطيفا كما هو في هذه الأيام. ومنذ عام 1994، بدأ «هنتسيلووه» وفريقه باستخراج قطع التربة تنحني إلى العصر الحجري الأوسط من هذا الكهف، وكانوا يوثقون بدقة موقع كل قطعة استخرجت منه. وتمثل هذه السنة السنة التاسعة لعمليات الحفر التي ينفذها هذا الفريق.

تتحد الخلايا من جديد لتشكيل الأسنان

خلايا سنية ماضوذة من خنازير يافعة، تم بذورها seeded على سقالة قابلة للتحرك (التقويض) الحيوي biodegradable scaffold ونراها باللون الأزرق على طول جوانبها بعد أسبوع واحد من الحضنة (أعلى اليمين). وبعد مضي 25 أسبوعاً من النمو (أعلى اليسار) نرى أن السقالة قد تحللت وحل مكانها لب سني ومينا، وعاج جديد. في سلسلة من مثل هذه التجارب نمت بنية دقيقة تشبه السن وبسط النسيج الجديدة. وفي 15 إلى 20 في المئة من الأسنان المصغرة لوحظ نضج صحيح لنسج سنية (أسفل اليمين) بما فيها بنية أولية للجذر تُعرف باسم عقد جذر هرتفك الظهاري Hertwig's epithelial root sheath (Hers). وفي حالات أخرى كانت بنية السن غير صحيحة أو غير كاملة (أسفل اليسار). ومع ذلك يبدو أن هذه الأسنان المصنعة تثبت أن الخلايا السنية المبعثرة تستطيع أن تعيد تنظيم نفسها لتعطي نسجا

سنية أكبر



الصحيحة من الخلايا حتى تُنتج سناً ذات مادة وبنية طبيعيتين ويفضل استخدام خلايا من جسم المريض ذاته (الشخص الذي فقد بعض أسنانه) على استخدام خلايا جنينية، لأن نسيج المريض ذاته لن يُعتبر جسماً غريباً، ومن ثم لن يتعرض استجابة مناعية.

يجب تحقيق ثلاثة إنجازات أساسية لإثبات ما إذا كان بالإمكان تصنيع السن التعويضية من أصل حي: الأول: يجب تحديد مصافر الخلايا القادرة على تشكيل السن وأن تكون سهلة الاستحصال من المرضى أنفسهم. الثاني: يجب أن تكون الأسنان المنتجة من هذه الخلايا قادرة على النمو في بيئة الفك البالغ، وقادرة على تشكيل جنور ترتبط بالعظم برباط عامل (وظيفي) حول سني functional periodontal ligament. الثالث: يجب أن نكون قادرين على التوقع المسبق والتحكم في شكل وحجم هذه الأسنان التي من أصل حي، بحيث تماثل أسنان المريض. إن هذه الإنجازات أهداف طموحة، لكن تقدماً كبيراً قد حصل باتجاه كل منها بواسطة مجموعات بحث مختلفة استخدمت طرقاً متباينة.

بناء السن البيولوجية^(١٠)

في أواخر الثمانينات من القرن العشرين قام «D. F. فاكنتي» [الجراح المختص بزراعة الأعضاء في كلية الطب بهارفرد] و«S. J. لانكر» [المختص بكيمياء البوليمرات في معهد ماساتشوستس للتقانة] بتصور فكرة وضع خلايا من عضو أو نسيج على سقالة (منصبة) scaffold مصنعة مسبقاً وقابلة للتحرك الحيوي biodegradable بهدف توليد نسيج أو أعضاء للزراعة [انظر: «الأعضاء الصناعية»، العدد 5 (1998)، ص 16]. وبعبارة مبسطة كانت طريقتهم تستند إلى حقيقة مفادها أن النسيج الحية مكونة من خلايا ترسل إشارات فيما بينها باستمرار، وغالباً ما تتحرك في مجتمع ثلاثي الأبعاد من نوع ما، ويبدو أن كل خلية تعرف مكانها ودورها في المجموعة الأكبر التي تشكل النسيج العامل وتقوم بصيانتته. لذلك إذا قمنا بإعادة جميع المزيغ الصحيح من الخلايا المتفرقة ضمن سقالة تماثل بيئتها الطبيعية الثلاثية الأبعاد، فإن هذه الخلايا يجب أن تعيد - غريزياً - تشكيل النسيج أو العضو الذي تنتمي إليه.

إن سلسلة النجاح المبكرة التي حققها «فاكنتي» و«لانكر» في إعادة تكوين أجزاء من نسيج كبدى باستخدام خلايا كبدية اعتماداً على استراتيجية السقالة هذه، قد أدت منذ ذلك الوقت إلى انتشار التجارب التي تستند إلى هذه التقنية لإنتاج نسيج أخرى معقدة مثل عضلة القلب والأمعاء الدقيقة والعظام المتعمدة mineralized bone، وحالياً الأسنان. في عام 2000 بدأ العالمان «C. P. بيلي» و«D. D. بارتلت» [من معهد غورسايث في بوسطن] بالعمل مع «فاكنتي» للتحقق من جدوى هذه التقنية في تصنيع الأسنان الحية، وذلك بالتركيز على الخنازير التي تشابه الإنسان، لأنها تنتج مجموعتين من الأسنان

هبوط شديد في درجات الحرارة، ويقول «وايت» إن استخلاص قدرات الناس مما علوه يمثل مسألة إشكالية جوهرية. وهو يرى أن شعوب العصر الحجري الأوسط كانوا يملكون، دون ريب، القدرة الدماغية التي تمكنتهم من السفر إلى القمر. لكن مجرد عدم قيامهم بذلك لا يعني أنهم لم يكونوا أندادنا معرفيا. ويعبر «وايت» عن هذا بقوله: «في أي لحظة معطاة، لا يبدل الناس كامل طاقاتهم.»

تفكير رمزي⁽¹⁾

إن السؤال عن الزمان والمكان والطريقة التي أصبح بها نوعنا البشري يتسم بالحدثة المعرفية هو سؤال معقد، ويُرَدُّ ذلك، في المقام الأول، إلى عدم اتفاق الخبراء على تحديد مكونات السلوك البشري الحديث، وهذا يتضمن، بابق المعاني، كلاً من أوجه الثقافة المتعارف عليها في هذه الأيام - من الزراعة إلى جهاز iPod - ولجعل التعريف أكثر فائدة لعلماء الآثار، كثر استخدام قائمة الخصائص السلوكية التي تميز العصرين الحجريين الأوسط والأعلى في أوروبا. ويستعمل آخرون الثقافات المادية للقبائل المعاصرة وتلك التي كانت موجودة منذ عهد قريب، والتي تعيش على القنص وجمع الثمار، بوصفها مرشداً وديلاً. وفي نهاية المطاف، فإن اعتبار مجموعة من الآثار دليلاً على الحدثة أمر لا يتوقف على التعريف المفضل لدى مقيم هذه الآثار.

وإذا أخذنا هذا في الاعتبار، فإن بعض الخبراء يؤيدون التركيز على نشوء وتطور أهم سمة للمجتمعات البشرية الحديثة، ألا وهي السلوك الذي يدار بالترميز، ويتضمن اللغة. ويؤكد «هنشيلوود» أن «القدرة على خزن الرموز خارج الدماغ البشري، هو مفتاح كل شيء» في هذه الأيام. فقد لا يكون نظام للاتصالات مستند إلى الرموز دليلاً كاملاً على الحدثة السلوكية في السجل الأركيولوجي، وهذا ما يبينه المثال التسماني⁽²⁾، لكن يبدو أن الباحثين، على الأقل، يقبلونه بوصفه سمة محددة للفكر البشري كما نعرفه، إن لم يكن السمة المحددة الوحيدة له.

وما يتبقى هو معرفة المسافة الزمنية التي يجب أن نعود بها إلى الوراء لمعرفة الوقت الذي نشأت فيه الثقافة المسيرة بالترميز. وتجدر الإشارة هنا إلى أن المكتشفات التي وُجدت خارج إفريقيا وأوروبا تساعد على إضاح هذا الموضوع. فالشواهد المثيرة للجدل التي أتنا من المناوي الصخرية في مالاكونانجا II⁽³⁾ ووالابيللا I⁽⁴⁾ في المنطقة الشمالية من أستراليا، مثلاً، توحي بأن البشر وصلوا إلى هناك قبل 60 000 سنة. وبغية الوصول إلى تلك القارة، التي هي جزيرة، كان يتعين على المهاجرين القادمين من جنوب شرق آسيا

صنع مراكب بحرية متينة والإبحار 50 ميلاً، على الأقل، في مياه مفتوحة، وذلك يتوقف على مستوى البحر. ويتفق العلماء، في الأغلب، على أن أي إنسان قادر على التعامل مع هذا الإنجاز الفذ لا بد أنه كان حديثاً تماماً. وفي كهف قفرة بفلسطين، اكتشفت «هوفرز» (من الجامعة العبرية بالقدس) وفريقها دسات من قطع أكسيد الحديد الأحمر قرب قبور الإنسان العاقل التي تعود إلى 92 000 سنة خلت. ويعتقد هؤلاء أنه جرى تسخين كميات من الأصبغة النباتية أو الحيوانية في مواقع الحصول على لون قرمزي لاستعماله في الطقوس الجنائزية.

وتلحح مكتشفات أخرى السؤال عما إذا كانت الرمزية مقصورة على النوع البشري الحديث تشريحياً. إن مواقع النياندرتاليين تحوي عموماً شواهد على عمليات تصنيع منهجية لأكسيد الحديد، ويبدو أنه عندما قارب حكمهم لأوروبا على نهايته في بواكير العصر الباليوليثي الأعلى صاغوا تقاليدهم الثقافية الخاصة بهم فيما يتعلق بتصنيع الزينات الجسدية، وهذه حقيقة يؤكد صحتها اكتشاف أسنان مثقوبة وأشياء أخرى وُجدت في مواقع مثل Grotte du Renne و Quinçay بفرنسا [انظر، «من Arcy-Sur-Cure في أري، الحددان هم النياندرتاليين»⁽⁵⁾، العددان 9/8 (2003)، ص 74]. ثم إن النياندرتاليين كانوا أيضاً يفتنون موتاهم. هذا ويدير نقاش حول الطبيعة الرمزية لهذا السلوك في هذه الحالة، لأن المقابر كانت تقتصر إلى سلع توضع فيها، بيد أنه في الشهر 2005/4،

الذي انعقد فيه الاجتماع السنوي لجمعية علم الإنسان في العصور الجيولوجية السالفة، قدم «إ. كوك» [من المتحف البريطاني] تقريراً ذكر فيه أن الميكروسكوبية الرقمية⁽⁶⁾ للآثار التي وُجدت في ماوي كرايينا الصخري⁽⁷⁾ بكرواتيا تدعم الفرضية القائلة بأن النياندرتاليين كانوا ينظفون عظام موتاهم، وربما كان ذلك نوعاً من الطقوس التي يمارسونها قبل الدفن، وليس نزع لحوم الموتى بغية أكلها.

وربما نشأت وتطورت القدرة على التفكير رمزياً لدى النياندرتاليين ولدى الإنسان العاقل الحديث تشريحياً كل على حدة. وقد تكون هذه القدرة برزت قبل أن تنطلق هاتان المجموعتان في مسارين تطوريين أحدهما منفصل عن الآخر، بعد أن كان لهما سلف بدائي مشترك. ويقول «وايت» في هذا السياق: «أنا لا أستطيع إثبات ذلك، لكنني أراهن على أن الإنسان البدائي الذي عاش قبل نحو 400 000 سنة كان قادراً على التفكير رمزياً.»

وبقدر ما يتعلق الأمر بـ«هنشيلوود»، فهو يراهن على أن



الأدوات التي استُخرجت من بلومبوس أعقد وأكثر تطوراً من تلك التي تُكتشف عادة في مواقع العصر الحجري الأوسط وتضم الأدوات العظمية مخارز مستدقة الطرف مصقولة جيداً بأكسيد الحديد لتحقيق نعومة عالية.

Sipayan Island (1)

(1) جهاز تشغيل ملفات حاسوبية من النوع MP3 مخصص للأغاني، وتبلغ ذاكرته

(2) جيكايايت ويمكن ريبه بجهاز حاسوبي من النوع ماكنتوش

(3) Tasmannian sandstone (1)

(4) Malakunan II (2)

(5) digital microscopy (4)

(6) Krapina Bone Shelter (3)

ربما لا يكون السلوك المدار بالقرصين نسا في أوروبا، لكن سجله المبكر عني فيها، ويحوي كهف شوفيه في مقاطعة أريديش بفرنسا أقدم رسوم كهفية في العالم وتعرض صالات الآثار رسوم مجموعة من الوحوش التي تختص إلى العصر الجليدي، وهي تتضمن أسودا (في الأسفل) عولجت بالصبغة الحديد قبل 35 000 سنة، كان لدى قدماء الأوروبيين أيضا حب للموسيقى، وهذا ما يدل عليه آلة الناي المصنوعة من العظم التي عمرها 32 000 سنة، والتي اكتشفت في إستورث بفرنسا (في أسفل اليمين)، وكان لدايمي الأوروبيين بدفنون موتاهم في اجنحات متباعدة أحيانا، كما هو مبين في الصورة (في اليمين) المنقولة عن رسم عمره 28 000 سنة يمثل رفات طفلين تحيط بهما آلاف من الخرزات، ومواد أخرى توضع في القبور جلت من سنجير غروسيه.



المؤلف

Kate Wong

مدير تحرير في ساينتفيك أمريكان

مراجع للاستزادة

The Revolution That Wasn't: A New Interpretation of the Origin of Modern Human Behavior. Sally McBrearty and Allison S. Brooks in *Journal of Human Evolution*, Vol. 39, No. 5, pages 453–563; November 2000.

Emergence of Modern Human Behavior: Middle Stone Age Engravings from South Africa. Christopher S. Henshilwood et al. in *Science*, Vol. 295, pages 1278–1280; February 15, 2002.

The Dawn of Human Culture. Richard G. Klein, with Blake Edgar. John Wiley & Sons, 2002.

The Invisible Frontier: A Multiple Species Model for the Origin of Behavioral Modernity. Francesco d'Errico in *Evolutionary Anthropology*, Vol. 12, No. 4, pages 188–202; August 5, 2003.

The Origin of Modern Human Behavior: Critique of the Models and Their Test Implications. Christopher S. Henshilwood and Curtis W. Marean in *Current Anthropology*, Vol. 44, No. 5, pages 627–651; December 2003.

Prehistoric Art: The Symbolic Journey of Humankind. Randall White. Harry N. Abrams, 2003.

Nassarius kraussianus Shell Beads from Blombos Cave: Evidence for Symbolic Behavior in the Middle Stone Age. Francesco d'Errico, Christopher Henshilwood, Marian Vanhaeren and Karen van Niekerk in *Journal of Human Evolution*, Vol. 48, No. 1, pages 3–24; January 2005.



بزوغ التفكير رمزياً حدث في العصر الحجري الأوسط. وفي الشهر 2005/6 كان «هنشيلوود» وفريقه في بداية موسم عملهم التاسع في بلومبوس. وبحلول نهاية ذلك الموسم، يكونون قد نخلوا تلك المستويات القديمة للكهف التي تعود إلى 75 000 سنة خلت. تاركين الباقي إلى غيرهم من علماء الآثار من بعدهم مع تقدمات غير متوقعة حتى الآن في تقنيات الحفر والتأريخ. ويقول «هنشيلوود»: «نحن لانحتاج في الحقيقة إلى الذهب إلى أبعد من هذه المستويات في بلومبوس. فما نحتاج إليه هو العثور على مواقع أخرى يعود تاريخها إلى تلك الفترة الزمنية – أي إلى نحو 75 000 سنة خلت.» وهو واثق بأن سعيهم سيكتل بالنجاح بعد أن حددوا عددا من المواقع الواعدة جدا في منطقة De Hoop Nature Reserve الساحلية، التي تقع على مسافة 30 ميلا غرب بلومبوس.

وعندما كنت جالسا في ساحة معهد أبحاث التراث الإفريقي مفكرا في أصداف القواقع اللذيذة المذاق التي بين يدي، فكرت أيضا فيما قد تكون مثلته هذه الأصداف لسكان بلومبوس. وعلى نحو ما، من الصعب تصور أسلافنا القدامى مهملين شؤونهم الحياتية الأساسية المتعلقة بالطعام والماء والحيوانات الضارية والمأوى ليفكروا في مثل هذه التوافه. لكنني في وقت لاحق، عندما كنت أتابع في كيب تاون عروضاً لبعض صانعي المجوهرات – من قلادات الصليان الذهبية إلى خواتم الخطوبة الماسية – رأيت أنه مازال من الصعب عليّ فهم أن الإنسان العاقل كان ذا سلوك مختلف عن سلوكنا ربما تكون الحلي قد تغيرت بعض الشيء منذ 75 000 سنة. لكن الرسائل الرمزية البالغة الأهمية التي تبعث بها هذه الحلي ربما بقيت على حالها من دون أي تغيير.

Absent Heritage Foundation Initiative (1)

Scientific American, June 2005

إن الأسنان معقدة أكثر مما تبدو،
فهي في الواقع أعضاء دقيقة

تكوين أسنان في أنابيب الاختبار

(T. P. شارب) - (S. C. بيك)



نحن نستخف بأسناننا حتى نخسرها أو نحتاج إلى ترميمات أساسية. وعندها نصبح أمام خيارات صعبة: إما أن نتدبر حياتنا بدون الأسنان المفقودة أو أن نستبدل بها أسناناً اصطناعية لا حياة فيها. وتدل الإحصاءات في العالم الغربي على أن 85% من البالغين قد أجروا معالجة سنية من نوع ما، وأن نحو 7% من الذين بلغوا 17 عاماً قد فقدوا سناً أو أكثر، وأن معدل الأسنان المفقودة بعد عمر 50 هو 12 سناً.

نظرياً: إن أفضل تعويض ممكن للسن المفقودة هو سن طبيعية صُنعت من نسيج المريض ذاته وُثِّمت في موقعها المطلوب، مع أن مثل هذه الأسنان المهندسة حيويًا bioengineered teeth قد كانت لسنوات عشت مجرد حلم. لكن التقدم الذي حصل مؤخراً في فهم كيف تنشأ الأسنان أول مرة قد تضافر مع تطور بيولوجية الخلايا الجذعية وتقانة هندسة النسيج ليقرينا عن تحقيق الأسنان البديلة الحية.

إضافة إلى الفائدة المحتملة للأشخاص الذين يحتاجون إلى أسنان جديدة، يقدم هذا البحث ميزتين مهمتين في اختبار مفهوم تعويض الأعضاء organ replacement: الأولى أنه من السهل الوصول للأسنان، والأخرى أن حياتنا غير متوقفة على وجود أسناننا، مع أن وجودها يجسّن نوعية حياتنا إلى حد كبير. قد تبدو هاتان الميزتان قليلتي الأهمية، ولكن عندما تبدأ الموجة الأولى من تعويض الأعضاء، بشق طريقها نحو عيادات الأطباء فإن الأسنان سوف تخدم كاختبار حاسم في مدى قابلية مختلف تقنيات هندسة النسيج للتطبيق. وبالنسبة إلى الأعضاء الأساسية اللازمة للحفاظ على الحياة، فإن الأطباء لن يكون لديهم أي هامش لارتكاب الأخطاء: أما في حالة الأسنان، فإن الأخطاء لن تهدد الحياة، ويمكن تصحيحها.

إن هذا لا يعني أن تصنيع (هندسة) الإنسان engineering teeth سوف يكون بسيطاً. فقد أسهمت ملايين السنين من التطور في ترسيخ العمليات المعقدة التي تنتج الأعضاء، ومنها الأسنان، خلال التطور الجنيني. إن التحدي الذي يواجهه مهندسو النسيج هو كيفية تقليد هذه العمليات التي تسيطر عليها بقرة جينات (مورثات) الجنين النامي. لذلك فإن أفضل طريقة للبدء بتعلم كيفية تكوين الأسنان هي مراقبة الطبيعة تفعل ذلك.

(T. P. شارب) - (S. C. بيك)

إذا استطاع مهندسو النُّسج تصنيع أسنان بديلة حية⁽¹⁾، فسوف يشقون طريقاً لتصنيع أعضاء أكبر، في حين يقودون طب الأسنان إلى عصر الطب التجديدي.

حوار دقيق⁽²⁾

بين الأسباب التي مازالت تمنع إنشاء الأسنان والأعضاء الأخرى في أطباق المختبرات. وفي الحقيقة قد لا يتمكن العلماء أبداً من التقليد الصُّنعي لهذه الظروف بشكل كامل. وكلما ازداد فهمنا لهذه المراحل المبكرة من التطور ازدادت فرصنا في ترويض نسيج

⁽¹⁾ Delicate Dialogue - والهدف من البحث هو تصنيع أسنان مهندسة حيوية
⁽²⁾ Living replacement teeth - تتم نموها في فم المريض لتعوض الأسنان المفقودة (التحرير)

بعد مضي ستة أسابيع من بداية الحمل يكون طول الجنين البشري أقل من بوصة واحدة والكاد يبدأ بأخذ شكل مُمَيَّن. ومع ذلك يكون قد حدث حوار متبادل ومستمر بين خلاياه يُبدئ تشكل أسنانه ويقوده. إن تعقيد هذه الإشارات، signals المتبادلة هو من



السن المصنعة بأهم **المُثَنِّجَات** cues لبناء العضو، ثم تنمو الطبيعة تقوم بباقي العمل.

مثلا، إن معظم الأعضاء، ومن بينها الأسنان، تتكون من خلال تآثرات بين نوعين متميزين من الخلايا الجنينية هما ظهاري **epithelial** ومنشجي **mesenchymal**. إن الخلايا الظهارية القمية في الجنين (والتي مقدر لها أن تبطن التجاويف القمية) ترسل أولى الإشارات المحرصة إلى الخلايا المنشجية (والتي سوف تنتج عظام الفك والنسج الرخوة) لتأمرها بالبدء بتكوين السن **odontogenesis**. وما إن تتلقى الخلايا المنشجية تعليماتها الأولية حتى تبدأ بإرسال إشارات الرد إلى الخلايا الظهارية، ويستمر هذا التبادل المتعكس خلال تطور السن الجنينية.

في البداية، لا تكون السن المستقبلية أكثر من تسمك في الظهارة القمية الجنينية، ومع نموها، تبدأ الظهارة باختراق النسيج المنشجي الذي يقبع تحتها والذي بدوره يتكثف حول هذا البروز الظهاري مشكلا برعما سنيا **tooth bud** وذلك في الأسبوع السابع من عمر الجنين [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. ومع ازدياد اختراق البروز الظهاري فإنه يلتف حول النسيج المنشجي المتكثف ليشكل في النهاية بنية ذات شكل جرسى مفتوحة من الأسفل، وذلك في الأسبوع 14 تقريبا. وأخيرا، فإن هذه الظهارة سوف تصبح المينا الخارجي المرئي للسن التي ستبرز من لثة الطفل وذلك بعد ستة أشهر إلى اثني عشر شهرا تقريبا من الولادة، أما الخلايا المنشجية فإنها تكون قد شكلت الأنسج غير المرئية من السن كالعاج واللُب السني والملاط والرباط حول السني الذي يربط السن بعظم الفك.

حتى قبل أن تبدأ هذه السن بالتكون، فإن شكلها يكون مقررا سلفا عن طريق موقعها، حيث إن بعض الإشارات المحرصة التي أطلقتها الظهارة والتي تبدي تكوّن السن، تُنظم عمل مجموعة مهمة من الجينات في مرتشيم الفك، تُعرف بجينات (مورثات) الصندوق المنجلي (أو صندوق الاستبدال) **homeobox genes**، تشارك في تحديد شكل وموقع الأعضاء، والزوائد في كل الجسم خلال النمو الجنيني، ففي الفك النامي عند الإنسان يتم تفعيل جينات صندوق

نظرة إجمالية/ أسنان من الطراز الحديث⁽¹⁾

- يعمل مهندسو النُسج على ابتداء أسنان تعويضية حية **living replacement teeth** مهتدين بالطبيعة، حيث يعملون أنواعا متباينة من الخلايا على تشكيل عضو قادر على القيام بوظائفه.
- تشمل الطرق المبتكرة بناء أسنان من خلايا سنية موجودة، أو استبدالها من نسيج سليمة **progenitor tissues**. وكلتا الطريقتين استطاعت حتى الآن إنتاج أسنان سليمة البنية.
- تشمل التحديات المتبقية: تنمية الجذور **roots** وتحديد المواد الخام الخالية للأسنان البصرية المصنعة. لكن نظرا للتطور السريع في هذه التقنية فقد تصبح أسنان أنابيب الاختبار **test-tube teeth** أول الأعضاء المصنعة.

استبدال مختلفة في أكمة متباينة لتقود كل برعم سني عبر مساره ليصبح رحي أو ضاحكا أو نابا أو قاطعا.

وعلى سبيل المثال، تقفل الخلايا المرتشجية في المواقع التي ستتم فيها الأجزاء⁽²⁾ جينة تدعى **Bax1**. وفي التجارب على الحيوانات، فإن تفعيل هذه الجينة **Bax1** على نحو خطأ، في مرتشيم يعطي قواطع في الأحوال العادية، يجعل هذه الأسنان تنمو بشكل أرحاء، ولما كانت القدرة على التوقع المسبق والتحكم في شكل السن ستصير شيئا أساسيا في تصنيع أسنان مهندسة فإن بإمكان العلماء استخدام نشاط الجينات مثل الجينة **Bax1** كواسمات **markers** تنبئية دقيقة للشكل المستقبلي حينما يبدأون باستنبات الأسنان في المختبر أول مرة.

وعلى، بدورنا، أن نؤمن الإشارات المناسبة للأسنان الناعية في الوقت المناسب، فمنذ الستينات بدأ باحثون مثل **Sh»** كلاستون⁽³⁾ (من مخبر أبحاث **Strangeways** في جامعة كامبردج بإنجلترا) باستكشاف إمكانية إنشاء أسنان من خلال التجريب على نسيج فأرية. وخلال العقود الثلاثة التالية أجريت دراسات كانت بمثابة بذور التطور للتجارب الحالية، تم فيها الجمع بين قطع صغيرة من ظهارة سنية ومرتشيم سني من جنين فأر، وبعد ذلك تم تنميتها في طبق مستنبت نسيجي أو زرعها جراحيا في جسم العائل (الثوي) **host**، حيث ستحصل النُسج التي أعيد جمعها على التروية الدموية. أظهرت هذه التجارب أن بداءات الأسنان الجنينية **embryonic tooth primordia** هذه يمكن أن تستمر في النمو مشكلة العاج والمينا كما لو أن ظهاره ومرتشيمه مازالتا في الجنين، إلا أن نموها يتوقف مبكرا ولا تكون الحصى في النهاية سنا مكتملة التشكل. ويعود السبب في ذلك إلى أن شيئا ما مفقود في البيئة التي تنمو بها.

إن عوامل النمو والإشارات الأخرى اللازمة لاكتمال تشكل السن في الجنين تأتي غالبا من نسيج الفك المحيطة بها. وهكذا يبدو أن الحل البسيط هو زرع بداءات الأسنان **tooth primordia** داخل الفك حتى يكتمل نموها. عند تصنيع الأسنان البديلة، فإنه يجب، من الناحية المثالية، أن تُنمى في موقعها الدائم حتى تتمكن من إنشاء ارتباطات من الأوعية الدموية والأعصاب وأن ترتبط بعظم الفك، إلا أن عظم الفك عند البالغ ذو بيئة مختلفة كثيرا عن تلك التي عند الجنين، لذلك فإن العلماء غير متأكدين مما إذا كان عظم الفك عند البالغ سيؤمن الإشارات الصحيحة للسن النامية.

وأكثر من ذلك، يجب أن يتم بناء بداءة السن من التركيبة

(1) Overview: Cutting-Edge Teeth

(2) تخلق المعاجم المتاحة - سواء الفوية أو العلمية المتخصصة - من تفسير للفظ **homeobox**، المعجم الوحيد الذي أورده هو «معجم لفاظ العلوم والتقانة» الصادر عن دار النشر **Academic Press**، يقول المعجم إن الـ **homeobox** تسلسل نناوي يتألف من نحو 180 زوجا من القواعد، يقع بالقرب من طرق بعض الجينات التي تنتج من الاستعاضة من بنية في الجسم ببنية أخرى مختلفة ولكنها مماثلة. وبناء على هذا تقترح ترجمة اللفظ إلى: الصندوق المنجلي (استنادا إلى صفة اللفظ)، أو إلى صندوق الاستبدال للدلالة على مايعنيه.

(التحرير)

(2) جمع رحي

كيف تقوم الطبيعة بتصنيع سن^(١)

معا لتشكيل سن، ويوجه هذه العملية حوار جزيئي مستمر بينهما، ويدرس مهندسو النسيج هذه الإشارات والمراحل لهم المشعرات اللازمة لكل مرحلة لتقليدها عندما يقومون بإنتاج أسنان بديلة مصنعة حيوية.

قد تبدو السن بسيطة من الخارج، ولكنها من الداخل أعجوبة بالغة الدقة في التصميم والبناء وتستغرق نحو 14 شهرا لتكتمل عند الإنسان النامي. يتجدد نوعان مختلفان من النسيج الجنيني البدئية *primordial embryonic tissue*

تكوين السن

جفتين: عمره 6 أسابيع

تبدأ الأسنان بالتشكل بعد مضي ستة إلى سبعة أسابيع من نمو الجنين البشري، حيث لا يزال كامل الرأس يأخذ شكله. ففي موقع السن المستقبلية، يتسكك النسيج الظهاري القوي قليلا ويؤدي نشاط الجينات داخل خلاياه إلى إرسال إشارات إلى النسيج المرنشيمي القابع تحته. ومع ازدياد انقراض الظهارة فإن الخلايا المرنشيمية تستجيب بإصدار إشارات الخاصة وتتكاثر حول البؤرة الظهاري لتتشكل البرعم السني. وفي الأسبوع التاسع، تصبح الظهارة على شكل قبة تغطي المرنشيم المتكاثف. ويشاهد في مركزها بنية تدعى عقدة الميناء *enamel knot*، وفي الآن المصدر الرئيسي للإشارات التي توجه نشاط كل من الخلايا الظهارية والمرنشيمية. وفي الأسبوع الرابع عشر تأخذ جرتومة^(٢) (أرومة) السن *tooth germ* شكل جرس يشتمل على خلايا متمايزة تدعى الأرومات المينائية *ameloblasts* التي ستكون الميناء *enamel* فيما بعد، وخلايا متمايزة أخرى تدعى أرومات الخلايا السنوية *odontoblasts* التي ستشكل العاج أما الجذور فهي آخر البنى تتطور، ويكتمل تشكيلها مع بزوغ السن بعد ستة إلى اثني عشر شهرا تقريبا من الولادة.



الأسبوع: 42-48 يوما

مرنشيم متكاثف

عقدة الميناء

أرومة مينائية

البرعم السني 7 أسابيع

المرحلة القلبية 9 أسابيع

أرومة الخلية السنوية

المرحلة الجرسية 15 أسبوعا

مينا

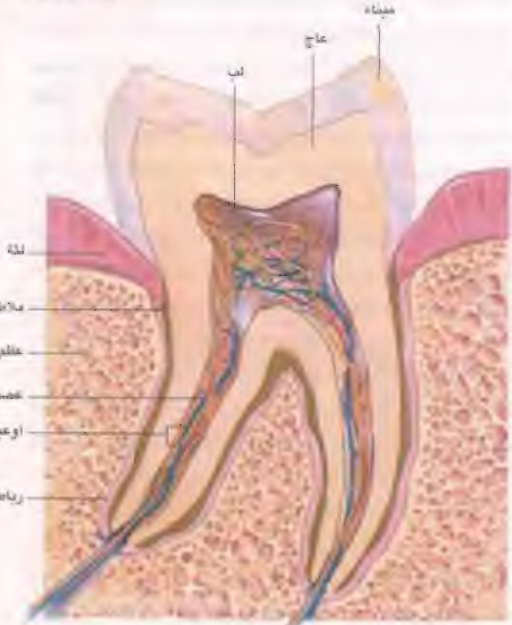
عاج

لب

مينا

جذر

سن متأخرة: 12-14 شهرا بعد الولادة



التشكل النهائي للسنين

تُعرف السن الحية على أنها عضو *organ*، لأنها تشتمل على أنواع متعددة من النسيج، كل منها له وظيفة أساسية فاللبنة، هو أقصى سطح متغير في الجسم، يحيط بداخل السن ويحكم إغلاقه ويحميه؛ والعاج، هو مادة تشبه العظم يشكل كتلة السن ويخدم كوسادة *cushion* تقاوم قوى المضغ؛ والللب السني يوجد في المركز ويحوي الأوعية الدموية المغذية والأعصاب التي تزمن الإدراك الحسي؛ والملائة يشكل السطح الخارجي القاسي للسن في المناطق التي لا يغطيها المينا؛ والرباط حول السني هو نسيج ضام يرتبط بكل من الملائة وعظم الفك مثبتا السن في مكانها، ويؤمن فوق ذلك بعضا من المرونة

(١) جرتومة *germ* نسيج بدئي قد يتحول إلى غصو متغير، وأسمى أيضا أرومة *blast* (التحريض)

(٢) *How Nature Engineers a Tooth*

يبدو أن كل خلية تعرف مكانها في المجموعة الأكبر.



إلى الدليل السابق الذي مفاده أن الخلايا تستطيع أن تعيد تنظيم نفسها في تشكيلات تؤدي إلى تكوين الأسنان. وأكثر من ذلك، لم يظهر أن هناك تأثيرات غير مواتية في الخلايا نتيجة إكثارها في المستنبت، وهي عملية ستكون أساسية في تصنيع الأسنان البشرية التعويضية لأن مهندسي النسيج سوف يضطرون على الأغلب إلى تصنيع السن التعويضية من عينات صغيرة من خلايا المريض ذاته. وأخيراً، برهنت هذه التجربة على إمكانية تصنيع الأسنان عند نوع ثائر من الثدييات (الأول هو الخنازير)، مما يعزز احتمال نجاح مثل هذه الطريقة عند الإنسان.

على الرغم من أن فريق فورسايت كان قادراً على تصنيع معظم أنواع النسيج المطلوبة باستخدام خلايا من مصور بالغ، فإن هذه النسيج قامت بتنظيم نفسها في مجموعات تشابه تلك الموجودة في السن الطبيعية في 15 إلى 20 في المئة فقط من عدد المرات. لذلك فإن الفريق يتابع العمل باستخدام طرق أدق في وضع أنواع مختلفة من الخلايا السنية ضمن السقالات للحصول على أسنان ذات بنية أكثر دقة.

وفي الوقت نفسه، يثري الفريق إمكانية أن لا تكون النسيج السنية الجديدة الملاحظة في هذه التجارب ناتجة من مجرد إعادة تنظيم الخلايا السنية غير المترابطة بحسب، بل لعل براعم الرحي الثالثة التي حصلنا منها على الخلايا التي بُذرت على السقالة قد احتوت على خلايا جذعية مخفية (وهي الأسلاف الفاعلة لأنواع الخلايا الأخرى) وهي التي كانت مسؤولة عن تشكيل النسيج الجديد. وإذا صح ذلك فهو يعني أنه ربما يوجد خلايا جذعية سنية جديدة داخل الأسنان نفسها قادرة على إنتاج معظم أنواع النسيج السنية اللازمة للتصنيع الحيوي للأسنان. وأن هذه الخلايا موجودة على الأقل لغاية سن البلوغ المبكر عندما تبرز أضرار العقل. إن امتلاك البالغ لمثل هذه الخلايا السنية الجذعية ذات الاستخدامات المتعددة سوف يؤدي بالتأكيد إلى تسريع الجهود المبذولة لتكوين الإنسان على السقالات، وربما تسهل أيضاً طريقة تصنيع للأسنان التي تتبعها مجموعة شاربي [في كلية الملك بجامعة لندن].

إنتاج الأسنان من نقطة الانطلاق⁽¹⁾

بدلاً من محاولة بناء أسنان بالغة من خلاياها الأساسية المكونة، فإن أحدنا (شاربي) يتابع استراتيجية مبنية على محاكاة العمليات الطبيعية لتطور السن الجنينية والتي وصفناها سابقاً، ومن حيث

خلال حياتها (البنية والدائمة).

وقد اشترك أحدنا (يوكي) في هذه التجارب، وفيها تم اشتقاق المادة الخام من الرحي الثالثة غير البازغة (خرس العقل) لخنزير عمره ستة أشهر. وللحصول على مزيج عشوائي غير متجانس من خلايا الظهارة المينائية وخلايا مزئسيم اللب السني، تم تكسير أضرار الخنزير إلى قطع صغيرة، ثم بعد ذلك أتيبت باستخدام الإنزيمات. ويجري صنع سقالات على شكل أسنان من لدائن من البوليستر قابلة للتدرك الحيوي، وتم تغطيتها بمادة تجعل اللدائن لصيقة، بحيث تلتصق الخلايا بها، ثم يُدر هذا المزيج من الخلايا في السقالات، وزرعت هذه البنى جراحياً داخل جرد عائل. حيث تم لفها بالقرن *omentum*، وهو غشاء من مادة بيضاء شحمية غني بالأوعية الدموية ويحيط الأمعاء، وهذه الخطوة مهمة لأن نسيج السن النامية تحتاج إلى تغذية دموية وفيرة تمدها بالعناصر الغذائية والأكسجين اللازمين لنموها.

في البداية وفرت السقالات الدعم والإسناد للخلايا، ولكنها ذابت فيما بعد، كما هو متوقع، واستبدل بها نسيج جديد. وعندما قُحصت الزرعات بعد مضي فترة 20 إلى 30 أسبوعاً ظهرت بنى دقيقة تشابه السن ضمن حدود السقالة الأصلية. وكان شكلها وتعصي نسيجها يشابهان تيجان الأسنان الطبيعية [انظر الإطار في الصفحة القابلة]. واحتوت أيضاً على معظم النسيج التي تكون السن الطبيعية، مما يثبت لأول مرة أن المينا والعاج واللب السني وما يبدو أنه ملامح جذور سنية في طور النمو، جميعها قابلة للتصنيع على السقالات.

يبدو أن هذه الخلطات من الخلايا السنية تستطيع أن تعيد تنظيم نفسها على السقالات لتعطي تنسيقات تساعد على تكوين مينا متمعدنة وعاج ونسج سنية رخوة. وبالطبع، فإن التفسير الآخر المحتمل لهذه النتائج المثيرة هو أن التوزيع العشوائي للخلايا التي تم بذرها على السقالة لم يساعد على تكون النسيج السنية إلا مصادفة. ولذلك قامت مجموعة فورسايت باختبار هذه الاحتمالات في دراسة جديدة باستخدام خلايا ظهارية ومزئسيمية سنية تم عزلها من أرعاء أولى وثانية وثالثة من جرذان، ولكن هذه المرة تم تنمية الخلايا وإكثارها في مستنبت نسيجي لمدة ستة أيام قبل أن تُبذر على سقالات وتُزرع في جردان عائلة. وبعد مضي 12 أسبوعاً من النمو تم اقتلاع النسيج الناتجة وفحصها. وللمرة الثانية شوهدت بنى سنية صغيرة تتألف من مينا وعاج ونسيج لبني، تكونت ضمن السقالة الأصلية.

كانت هذه النتائج الجديدة مشجعة لأنها أضافت بعض الدعم

Teach mean heretich (x)

لم يكن ثمة من يمكنه التنبؤ بما إذا كان فك البالغ سيؤمن بالإشارات اللازمة لتكون الأسنان



لمعرفة ذلك قامت مجموعة «شارب» بقلع براعم سنية من فئران جنينية ثم زرعها في أفواه فئران بالغة. أُجريت شقوق صغيرة في النسيج الرخوة للفك العلوي للفئران العائلة في منطقة الفلج (الفرجة) diastema بين القواطع والأرحاء، حيث لا يوجد أسنان عادة. وتم إدخال بداءات الأسنان الجنينية embryonic tooth primordia في هذه الجيوب ووضع عليها لاصق جراحي. بعد ذلك خضعت الفئران لحمية غذائية لينة ووضعت الزرعات تحت المراقبة بعد مضي ثلاثة أسابيع فقط كان بالإمكان تمييز أسنان بوضوح في منطقة الفلج، وقد تكونت بالاتجاه الصحيح وكانت بحجم مناسب بالنسبة إلى الفئران، وقد ارتبطت بالعظم بنسيج ضام رخو [انظر الشكل في الصفحة المقابلة]

وبشكل لافت للنظر، يبدو أن فم البالغ يستطيع تأمين بيئة مناسبة لتشكل السن. وبذلك يتحقق أحد الإنجازات الثلاثة التي حددناها سابقاً على طريق تصنيع السن التعويضية. ومع ذلك ربما مازال الطريق نحو تصنيع السن التعويضية البشرية تكثفه بعض الصعوبات.

نقطة التلاقى^(١)

مقارنة بالجهود المبذولة لتصنيع أعضاء أخرى، فإن تصنيع الأسنان قد تطور بشكل واضح في زمن قصير. وبمقياس التحدي الكبير هو تطوير طرق بسيطة ويمكن التحكم فيها. أما الهدف الثاني من الأهداف الثلاثة التي حددناها سابقاً، وهو القدرة على التنبؤ المسبق والتحكم في حجم السن وشكلها فقد أضحى قريباً. فعند استنبات بداءات الأسنان يمكن التمييز بسهولة بين جرثومي (أرومقي) germs والسن القاطعة عن طريق شكلهما ونشاطهما الجنيني على الرغم من أن التمييز بين الأشكال الأخرى المشاهدة في فم الإنسان كالضواك والانتياب أكثر صعوبة. إن الأسنان التي قامت مجموعة «شارب» بتكوينها انطلاقاً من بداءات جنينية زُرعت في أفواه فئران بالغة قد أظهرت أشكالاً تناسب موقعها الأصلي عند الجنين. فمثلاً نمت بداءات الرجي لتعطي سناً يشكّل رجي، لذلك إن الإشارات التي تتحكم في شكل السن يتم تلقيها في المراحل المبكرة جداً من النمو الطبيعي للسن، ومن ثم تكون جرثومات (أرومات) الأسنان الجنينية قد تمت برمجتها بالفعل. إن مهندسي النسيج بحاجة إلى فهم أفضل لهذه الإشارات البدئية التي تتحكم في الشكل من أجل تحريضها عند التصنيع الحيوي للأسنان في البشر.

الجوهر، فإن هذه الطريقة تتطلب فهم المبادئ الأساسية التي تتحكم في المراحل المبكرة لتشكل السن وتتطلب أيضاً تأمين مصدر للخلايا لتقوم بدور الظهارة الفمية الجنينية والمزئشيم الجنيني.

وحتى تاريخه قامت مجموعة «شارب» بإجراء التجارب بصفة أساسية على خلايا الفأر، باستخدام كل من الخلايا الجذعية والخلايا العادية، من مصادر جنينية وكذلك من مصادر بالغة، لاختبار قدرة مختلف أنواع الخلايا على تكوين الأسنان البديلة. في معظم الحالات بدأت المجموعة بتجميع الخلايا المزئشيمية في مبدئة centrifuge حتى تشكل كتلة صغيرة مُصنّعة؛ ثم غطيت هذه الكتلة بالظهارة ووضعت في مستنبت، لعدة أيام، في حين جرى رصد النشاط الجنيني في نسيجها بحثاً عن دلائل على بدء نمو الأسنان. وبعد ذلك زُرعت بداءات الأسنان هذه داخل أجسام حيوانات عائلة في مواقع تؤمن تروية دموية مغذية، مثل كلية فأر، حيث تُترك لتتطور لمدة 26 يوماً تقريباً.

في سياق هذه التجارب، شوهد تكون واضح للسن ولكن فقط عندما أتت الظهارة من مصدر جنيني واحتوت تجمعات الخلايا المزئشيمية على بعض الخلايا الجذعية على الأقل. فمثلاً عندما حلت خلايا جذعية من نقي عظام بالغ محل المزئشيم الفموي، أنتجت البنى الأولية المزروعة أسناناً ذات بنية صحيحة. وهكذا يبدو أنه يمكن للخلايا الجذعية للبالغ أن تحل محل المزئشيم الجنيني لتكوين أسنان جديدة.

لسوء الحظ فإن سنوات عديدة من التجارب قد رسخت فكرة أن الظهارة الجنينية تحتوي على مجموعة فريدة من الإشارات اللازمة لتكون السن والتي تختلف من الفم بعد الولادة. وتستمر مجموعة «شارب» في البحث عن مجموعات من الخلايا البديلة قادرة على إعطاء النتائج المرجوة ويمكن اشتقاقها من مصدر بالغ، ولا تزال النتائج التي أُجريت باستخدام بداءات الأسنان المصنوعة من التركيبة المؤلفة من خلايا جذعية لبالغ وظهارة فمية جنينية مشجعة للغاية.

ومن الأمور المهمة أن هذه الأسنان كانت أيضاً ضمن المجال الطبيعي لحجم أسنان الفأر، وكانت محاطة بعظم ونسيج ضام جديدين، وأظهرت أبكر العلامات على تشكل الجذور، وكانت الخطوة القادمة هي معرفة ما إذا كان يمكن لمثل هذه الزروع أن تُشكل أسناناً في الفم، ذلك أن العظم والنسيج الرخوة والأسنان تنمو مع بعضها في فم الجنين بدون ضغوط خارجية، مثل تلك الناتجة من المضغ والكلام؛ في حين أن فك البالغ يتعرض لحركات عنيفة ودائم الانشغال، ولم يكن هناك من يمكنه التنبؤ بما إذا كان فك البالغ سيؤمن الإشارات الضرورية للأسنان لكي تتكون وتدمج نفسها ضمن البيئة المحيطة مثلما تفعل في الجنين.

On the Cusp (١٧)

المنشمية من مصدر بالغ والمشتقة من نقي العظام (يمكن أيضا أن تكون مشتقة من نسيج شحمي) يمكن أن تحل محل النسيج المنشيمي الجنيني في عملية تكوين السن. ولا يزال إيجاد بديل للظهارة الجنينية واجبا، على الرغم من وجود مزاعم عن اكتشاف خلايا جذعية عند البالغ في نسيج أخرى ذات منشأ ظهاري كالجلد والشعر. إن هذه الأنواع أو غيرها من خلايا البالغ قد تُثبت فاعليتها، ربما بمساعدة مثالبلة الجينات *gene manipulation* بهدف تحريض الإشارات المناسبة البائدة لتكون السن.

ومن بين المصادر العديدة المحتملة للخلايا يمكن أن تكون الأسنان نفسها هي الأكثر ملاءمة؛ ذلك أن نتائج أبحاث مجموعة فورسايت توحي بأنه قد يوجد داخل السن خلايا جذعية قادرة على تشكيل نسيج سنّية بما فيها المينا. وقد أظهر باحثون في أمكنة أخرى أيضا أن العاج ونسج سنّية أخرى يحدث فيها بعض التجديد الطبيعي بعد تعرضها لأذية ما، مما يدل على وجود خلايا سليمة قادرة على توليد تشكيلة من نسيج السن. ولهذا فمن الوارد أن تتمكن يوما ما قريبا من صياغة أسنان جديدة من الأسنان القديمة.

المؤلفان

Paul T. Sharpe · Conan S. Young

التقيا منذ سنتين في مؤتمر يبحث في الأسنان والعظام، حيث اكتشفا أن لديهما ولعا مشتركًا بالرياضة ركوب الدراجات الهوائية على الأراضي الوعرية والرياضة كرة القدم، على الرغم من اختلاف طرقهما في التصنيع الحيوي للأسنان. أسس شارب وثراس قسم التطور الوجهي القحفي في مستشفى كاي بلندن، وهو أيضا أستاذ علم الأحياء الوجهي القحفي في كلية الملك بلندن. وفي عام 2002 اشرك Odontix المختصة بالعلوم التقنية الحيوية التي تركزت لتكوين عظام وأسنان الإنسان عن طريق محاكاة عمليات تشكيلها في الجنين النامي. وأما يونغ فهو مدرس البيولوجيا التطورية والفردية في كلية طب الأسنان بجامعة، وهو من فريق العلماء في معهد فورسايت ببوسطن، حيث يعمل على تكوين أسنان من خلايا بذر على سفلات قابلة للتفويض (للتدراك) الحيوي.

مراجع للاستزادة

Tissue Engineering: The Challenges Ahead. Robert S. Langer and Joseph P. Vacanti in *Scientific American*, Vol. 280, No. 4, pages 86-89; April 1999.

Tissue Engineering of Complex Tooth Structures on Biodegradable Polymer Scaffolds. Conan S. Young, Shinichi Terada, Joseph P. Vacanti, Masaki Honda, John D. Bartlett and Pamela C. Yelick in *Journal of Dental Research*, Vol. 81, No. 10, pages 695-700; October 2002.

Bioengineered Teeth from Cultured Rat Tooth Bud Cells. Monica T. Duallibi, Silvio E. Duallibi, Conan S. Young, John D. Bartlett, Joseph P. Vacanti and Pamela C. Yelick in *Journal of Dental Research*, Vol. 83, No. 7, pages 523-526; July 2004.

Stem Cell Based Tissue Engineering of Murine Teeth. A. Ohazema, S.A.C. Modino, I. Miletich and P. T. Sharpe in *Journal of Dental Research*, Vol. 83, No. 7, pages 518-522; July 2004.

The Cutting Edge of Mammalian Development: How the Embryo Makes Teeth. Abigail S. Tucker and Paul T. Sharpe in *Nature Reviews Genetics*, Vol. 5, No. 7, pages 499-508; July 2004.



سنّ ضارّ شكّلت من بذات أرحاء *molar primordia* زرعت في الفك العلوي للفار، تثبت أنه يمكن أن تتكون أسنان جديدة في فم البالغ. تشاهد سنّ في مركز هذا المقطع العرضي للفك في منطقة العاج *dentine* وقد اختزنت جميع البنية (ونستأه في الأعلى واليمين سنّا أخرى لاتزال في طور التشكّل). يرى اللب السنّي داخل السن البازغة. وتصلب النسيج السنّي القاسية (المينا) والعاج (العاج) باللون الأحمر. وعلى الرغم من أن هذه السن تفقد الجذور فإنها ترتبط بعظم الفك المحيط بها بنسيج ضام لين.

حتى هذا اليوم، لم تتشكل جذور للأسنان المصنعة في أي من طرق هندسة النسيج التي وصفناها. والحقيقة أن كلا من تطور الجذر والمنبهات التي تُبدئ بزوغ السنّ هما عمليتان معقدتان ولا يزال فهمنا لهما محدودا. إن الجذور هي القسم الأخير الذي يتشكل من السنّ ويكتمل تشكيلها خلال عملية الزوغ. وهناك حاجة إلى المزيد من الأبحاث لفهم الظروف التي تساعد على تشكيلها في الأسنان المصنعة. والمجهول الآخر هو كم من الوقت ستحتاج الأسنان المصنعة عند الإنسان البالغ تبدأ أيضا بالتشكل عند الجنين. ومع ذلك تحتاج إلى ست أو سبع سنوات حتى تبرز، أو 20 سنة في حالة أضرار العقل. إن خبرتنا في تصنيع الأسنان حيويًا عند الحيوانات توحي بأن السنّ البشرية المصنعة سوف تتشكل أسرع بكثير، ولكن لا نعلم ما إذا كانت ستحتاج إلى وقت أطول حتى يكتمل نضجها ويتقوى ميناؤها بشكل كامل.

أما بالنسبة إلى الإنجاز الثالث، فمن الطبيعي أن معظم أبحاث التصنيع الحيوي للأسنان تسعى نحو إيجاد مصدر فعال ومتاح من خلايا المريض نفسه لتستخدم كمادة أولية. بهذه الطريقة نتجنب رفض المناعي. ولما كان حجم السنّ وشكلها ولونها تحدّد وراثيًا فإن الأسنان المصنعة حيويًا ستكون مماثلة أكثر لأسنان المريض الطبيعية. وقد وجدت مجموعة «شارب» أن الخلايا الجذعية

أجسام نانوية

إن الأضداد، أو الرصاصات السحرية كما يتم وصفها غالباً، كثيرة الشبه بالدبابات: فهي كبيرة ومعقدة وباهظة الثمن. أما «الأجسام النانوية» البالغة الصغر، والمشتقة من الإبل وحيوانات اللاما، فقد تكون قادرة على اختراق تحصينات مجموعة أوسع من الأمراض وتكلفة أقل. وهذا على الأقل هو المأمول من شركة صغيرة حديثة الانطلاق في بلجيكا.

«W. W. كيبيس»

infection بالفيروس التنفسي المخلوي respiratory syncytial virus على سبيل المثال. وفي أوقات أخرى يبالغ الجهاز المناعي في رد فعله، مثلما يحدث في حالة رفض الأعضاء، بعد زرعها وفي الربو. كما أن الجهاز المناعي قد يهاجم عن طريق الخطأ خلايا الجسم ذاته، وعندما قد تسبب هذه الاستجابة المناعية بعينها أمراضاً تنكسية مثل التهاب المفاصل الرثياني.

ولسنوات عديدة، حاول صانعو الأدوية تخليق أضداد صناعية تستطيع أن تصحح - أو أن تلطف على الأقل - هذه الإخفاقات المناعية. ولكن معظم المحاولات الأولى كان نصيبها الفشل وانتهت بنكبات مالية. وفي العقدين الذين تلتيا العام 1975 الذي شهد ابتكار طريقة لإنتاج دفعات كبيرة من الأضداد المتطابقة أو «الوحيدة النسيلة»، تمكن علاجاً فقط من هذه العلاجات عن اجتياز فحص إدارة الغذاء والدواء، الأمريكية (FDA).

وانفجر المازق أخيراً في سنة 1997، وبحلول نهاية 2004 كانت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية قد أقرت 17 نوعاً من الأضداد العلاجية، بما فيها محالجات وأدوية لجميع الاعتلالات المذكورة آنفاً [انظر: «رصاصات سحرية تنطلق من جديد»، **العلوم**، العددان 8/7 (2002)، ص 12] وقد جنت الشركات الصيدلانية 11.2 بليون دولار من مبيعات هذه الأدوية في عام 2004، حسبما ورد في تقارير الشركة الاستشارية AS Insights.

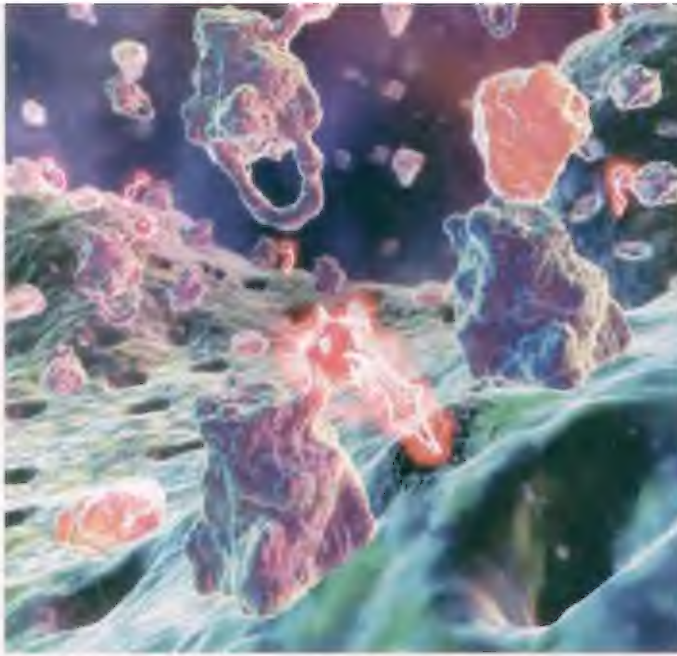
وكان من الممكن أن يبدو الهدف الطموح لهذه الشركة غير ذي جدوى لولا الإقبال الشديد الذي شاع مؤخراً في مجال المعالجة بالأضداد، والمشكلات التي مازالت تواجه الأدوية المتطورة المعقدة، ولولا ما لدى علماء الشركة أبلينكس من تبصرات في دواخل البيولوجية الغريبة لفصيلة الإبل.

وإذا استثنينا الدماغ، فإن أكثر أجزاء الجسم البشري تعقيداً دون شك هو الجهاز المناعي، والحمد لله على ذلك. فالعالم من حولنا عالم «تلتهم فيه البكتيريا الإنسان»، مملوء بتشكيلة لا تكاد تحصى من البكتيريا التي تتخذ منا أرضاً خصبة للتكاثر. وأمام هذا الهجوم الضاري، تتولى الأضداد الدفاع عنا. والأضداد هي بروتينات هائلة الحجم تصنعها الخلايا البائية في صفيح نخاع من النماذج models، وتأخذ الأضداد شكل الحرف Y، وتسير في الدم وفي السائل ما بين الخلايا، مفتوحة الذراعين ومستخدمة نوعاً من حس اللمس الكيميائي لاستجواب الجزيئات الأخرى التي تصادفها. ولكل نموذج من الأضداد مهمته الخاصة به: فهو يتجول بحثاً عن التوقيع المميز (أو البصمة الكيميائية المميزة) ليكربوب أو لتثيقان أو لاستئراج allergen بعينه.

وعلى الرغم مما تتسم به دفاعاتنا المناعية من تعقيد، فممازال نمرض. فليس ثمة قوى شرطة تبلغ حد الكمال، فالجهاز المناعي في بعض الأحيان إما أن يكون بطيئاً جداً أو لطيفاً في رد فعله للسرطانات أو الخمج

إن الشركة أبلينكس Ablynx، مثلها مثل العديد من شركات التقنية الحيوية، قد ظهرت نتيجة تلاقي اكتشاف تم بمصادفة محضة، مع فرصة مواتية، إلى جانب طموح يتجاوز حدود المألوف. وتتخذ الشركة مقراً لها أحد المختبرات التي لا تكاد تلفت النظر، وتتكون من طابقين في حرم جامعي خارج مدينة كُنت Ghent في بلجيكا، ويقتصر عدد العاملين في هذه الشركة التي مضى على إنشائها ثلاث سنوات على 45 شخصاً فقط، منهم ثلاثة وثلاثون من العلماء والمهندسين الحيويين. إن هؤلاء العاملين يشكلون أقل عدد ممكن لتأدية المهمة التي تبغى ببساطة إيجاد أدق شذفة من البروتين قادرة على أداء الوظيفة التي يؤديها ضد antibody مكمثل العجم، ومن ثم توصيلها إلى دواء. تقدر قيمة بيلابيين الدولارات، أو حتى إلى ما هو أفضل من ذلك - تحويلها إلى أول دواء من مجموعة جديدة تماماً «لأدوية نانوية» nanobody drugs يمكن استخدامها في علاج السرطان والتهاب المفاصل الرثياني (الروماتزمي) ومرض التهاب الأمعاء inflammatory bowel disease، بل ربما أيضاً مرض الزايمر.

ومع أن الشركة أبلينكس مدعومة مالياً بنحو أربعين مليون دولار كرأس مال استثماري وبشراكات مع كل من الشركة جينتكور والشركة بروتور وكامبل ومجلس الأبحاث الوطني الكندي، فإنها تواجه مجازفات غير مضمونة على الأمد الطويل،



يُمكن أن عدة أنواع من الأجسام النانوية (اللون الأرجواني) أن تحط على خلية سرطانية (اللون الأخضر - الأزرق). وقد تُصمَّم بعض الأجسام النانوية لكي ترتبط بمستقبلات على سطح الخلية، مانعة بذلك إشارات محفزة للنمو pro-growth (اللون البرتقالي) من الوصول إلى الخلية. في حين يمكن لأجسام نانوية أخرى أن تقوم بإيصال أحماض مشعة (الزوائد الشبيهة بالهراوات) إلى أهداف سرطانية.

أما بالنسبة إلى سوق الأضداد الوحيدة النسيلة (ويرمز إليه عادة اختصاراً MAb) فللايزال في مرحلة تكوينية سريعة النمو. وحالياً، توجد العشرات من الأضداد الوحيدة النسيلة إما قيد التطوير أو قيد الاستخدام في التجارب السريرية. وفي السنة الماضية (2004)، قدرت M.D. رابشرته [من مركز دراسة التنمية الدوائية في جامعة تكساس] أن 16 من هذه الأضداد الوحيدة النسيلة ستحوز على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية خلال السنوات الثلاث القادمة. كما تتوقع سوق الأضداد MAb أن تحقق بحلول عام 2008 مبيعات على مستوى العالم تقدر بنحو 17 بليون دولار.

وحسب قول M.D. فايلكه [الرئيس التنفيذي للشركة أبلينكس]، فإن شركته بينما تسعى إلى إجراء أولى تجاربها السريرية في نهاية 2006، فإنها تطمح إلى أن تحظى بشريحة صغيرة من تلك الكمكة الكبيرة. إن الأجسام النانوية nanobodies - وهي بروتينات بسيطة نسبياً يقارب حجمها عُشر حجم الأضداد ويبلغ طولها بضعة نانومترات فقط - قد تنتج منها يوماً ما أدوية جديدة لمرض الزهايمر وأمراض أخرى يعتذر على الأضداد المتوافرة حالياً معالجتها. ولكن هذه الاستراتيجية لم تكن الاستراتيجية الافتتاحية التي اختارها <فايلكه> وبدلاً من ذلك، وجه <فايلكه> العلماء الذين يعملون معه إلى تخليق أجسام نانوية تقوم بالعمل الذي تقوم به أكثر الأضداد مبيعاً، ولكن بشكل أفضل.

مقاييم مع الأضداد

وبالنسبة إلى هذا الموضوع هناك بلا شك مجالاً للتحصين. ولكن رغم ما تعد به الأضداد الوحيدة النسيلة، حسبما يشير H. دو هارد [المدير العلمي في الشركة أبلينكس]، فإنها ستظل أدوية باهظة الثمن ومزعجة. ووفقاً للشركة سيذكو للحلول

الفران وراثياً، بحيث تنتج أضداداً بشرية تقريبية بشكل مباشر.

إن عملية «الأنسة» هذه تقلل التأثيرات الجانبية الخطرة المحتملة التي غالباً ما تتولد نتيجة للعلاج بالأضداد عندما يستبين جسم المريض الأضداد الوحيدة النسيلة كخزاة أجانب فيشن هجوماً مناعياً ضد الدواء، ولكن عملية الأنسة غالباً ما تحتاج إلى عدة أشهر من العمل التقني الرفيع المستوى. كما أن الجزيئات الضخمة الناجمة تكون معقدة بحيث لا يمكن تصنيعها من لبنات بناء كيميائية كما هي حال الأدوية التقليدية. وبدلاً من ذلك، فإن هذه الجزيئات الضخمة يجب أن تنص في أوعية مفاعلات حيوية تحتوي على خلايا من الثدييات، سبق أن تمت هندستها وراثياً، بحيث تجعل الجينات المتعددة اللازمة لصنع ضد واحد.

غير أن مستتبات خلوية من هذا النوع لا يمكنها أن تبلغ بسهولة مستوى الإنتاج بالجملة. فتكلفة إنشاء وتشغيل معامل الأضداد الوحيدة النسيلة أكبر بكثير من تكلفة إنشاء وتشغيل منشآت اصطناع حيوي كيميائي أو جروثومي من حجم مشابه. كما أن شركات الأدوية لا بد لها من أن تضمن، على سبيل المثال، أن ما لديها من أوعية

الصحية Medeu Health Solutions، فإن تكلفة توفير الدواء لمعالجة مريض واحد مصاب بالربو باستخدام الضد زولير Xolair تبلغ نحو 11 000 دولار أمريكي في السنة؛ كما تبلغ تكلفة معالجة التهاب المفاصل الربياني بثمانتي حقن من Remicade نحو 4600 دولار أمريكي، وتزيد تكلفة العلاج لمدة سنة بدواء Herceptin (وهو ضد يُعالج به السرطان) على 38 000 دولار أمريكي.

ويعود كون الأضداد الوحيدة النسيلة باهظة التكاليف إلى حقيقة أنها شديدة التعقيد. فوفقاً للمعايير الجزيئية، فإن الأضداد تعتبر عملاقة، إذ يتكون كل ضد من تكتل سلسلتين بروتينيتين ثقيلتين وسلسلتين خفيفتين. هذه السلاسل الأربع تغطى على نفسها بشكل بالغ التعقيد وتزين بسكريات مكملة [تنظر الإطار في الصفحة 67].

ولصنع دواء من الأضداد الوحيدة النسيلة (MAbs) غالباً ما يبدأ العلماء بضد تم عزله من أجسام الفران. ومن ثم فإنهم يؤنسونه humanize الجزيء، عن طريق مصاوغة الجينات التي تكوده بغية تبديل بعض البروتين أو جميعه بتتاليات من حموض أمينية منقسخة من أضداد بشرية (وكيبدل لذلك، فإن بعض الشركات عدت إلى هندسة

فيها، ولكن شدة الأضداد لا يمكنها أن تُجند مكونات أخرى من الجهاز المناعي مثل الخلايا القاتلة بمثل الطريقة التي تقوم بها الأضداد الكاملة الحجم، لأن هذه الشدة لا تملك الجذع البروتيني الذي يقوم بمهمة التجنيد هذه.

ولكن هناك نقطة لصالح شدة الأضداد Fabs، حيث إنها يمكن أن تصنعها اليكتيرات أو الخمائر أو الفطور، وذلك أقل تكلفة من تصنيع الأضداد الذي يتم عن طريق خلايا الفئران أو الهامستر hamster. إضافة إلى كون شدة الأضداد Fabs هذه تستطيع التسلل إلى مراكز الأورام، وكون مهتدسي الجزيئات يستطيعون جعلها تحمل أحمالاً سامة (مثل النظائر المشعة أو أدوية العلاج الكيميائي) وتوصلها إلى النسيج المريضة مباشرة.

وفي المقابل، تمل شدة الأضداد Fabs إلى أن تشكك أن ترشح وتطرح خارج المجرى الدموي بسرعة، ولذا فإن عمر النصف الفعال الخاص بها يبلغ عادة مجرد ساعات، بدلا من الأسابيع التي تستطيع الأضداد الكاملة الحجم البقاء خلالها داخل الجسم البشري. وقد تكون التنقية السريعة مرغوباً فيها لأجل إيصال ديفان ما إلى داخل الجسم، ولكنها تعتبر سيئة من أجل أدوية أخرى كثيرة، وإلى الآن، لم يصل إلى السوق في الولايات المتحدة إلا دواء واحد يخلص شدة الأضداد Fabs، وكان ذلك قبل أكثر من عقد من الزمن.

لقد قامت بعض الشركات - كالشركة دومانيس في كامبريدج بولاية ماساتشوستس - بالمزيد من تشذيب شدة الأضداد Fabs، بحيث لم تترك منها إلا ذروة واحدة من السلسلتين المكونتين لها، وهذه القطعة، التي تعتبر غريبة لكل نموذج من الأضداد، تحتوي على الأضلاع الكيميائية الحاسمة المعروفة بكونها المناطق المحددة للتقاسمية Complementarity Determining Regions (CDRs)، التي تحدد الهدف الذي سيتعرفه الضد (والهدف في هذه الحالة هو مستضد)، كما تحدد درجة الإحكام التي سيرتبط بها الاثنان عندما يتقابلان، وتكون الأضداد النطاقية domain antibodies - حسبما يخلو للشركة دومانيس أن تطلق على بروتيناتها - مماثلة في الحجم للجسم للجسيم النانوية التي تصنعها الشركة أبلينكس.

وهكذا فسفي الحالات التي لا تعمل الأضداد الوحيدة النسيلة بشكل جيد، وحتى بالنسبة للحالات التي تصلح فيها، فإن ثمة بروتينات أصغر وأبسط قد تؤدي الوظيفة نفسها بشكل أفضل وتكون في الوقت نفسه أسهل صنعا وأبسط تداولاً وأبسط في طريقة إعطائها للمرضى، مما يجعل هذه البروتينات الصغيرة ميسورة التكاليف، أكثر مما سواها. وقد سبقت هذه الفكرة اختراع الأجسام النانوية بسنوات عديدة. ففي الثمانينات من القرن الماضي، بدأ مهتدسو البروتينات بإجراء التجارب على شدة fragments من الأضداد تم الحصول عليها عن طريق قطع جذع الضد الذي تأخذ بنيتة شكل الحرف Y، أو عن طريق قطع الجذع وإحدى الذراعين، تاركين «ذراعاً» واحدة للقيام بالمهمة الكيميائية لل ضد.

وعلى غرار الأضداد Mabs الكاملة الحجم تستطيع شدة الأضداد هذه (والتي تُلَقَّب بـ Fab) أن تعالج الأمراض عن طريق الارتباط بالذيفانات أو العوامل الممرضة أو الإشارات الخلوية الزائغة أو عن طريق الارتباط بالمستقبلات الخلوية التي تحط عليها تلك الجزيئات غير المرغوب

ضخمة لن تصاب بمرض من فيروس يمكن أن يثلف الخلايا الثمينة أو يلوث الأضداد. ويستنتج تحليل حديث أجراه «C.M. فيا» [من مجلة كمبريدج للمشورة حول التقنية الصحية Cambridge Healthtech Advisor] أن الطلب على الأضداد الوحيدة النسيلة سيقوق على الأغلب الطاقة الإنتاجية لمدة سنوات عديدة، وتتضافر جميع هذه العوامل في رفع سعر العلاجات بالأضداد.

ويغرض الحجم الكبير للبروتينات حدوداً عملية وطبية، فدرجات الحرارة المرتفعة والأنس الهيدروجيني (pH) المتطرف يجعلان الأضداد الوحيدة النسيلة تتفكك. كما أن صلاحية هذه الأجسام تنتهي عادة في غضون أسابيع إن لم تكن مخزنة في درجات حرارة تقارب درجة التجمد، وهي أيضاً - أي الأضداد - تُهَضَم بسرعة في الجهاز الهضمي، وتُمتص من دخول الدماغ وتبقى محبوسة في محيط الأورام الصلبة. وبذلك فإن كثيراً من الأمراض لا يمكن علاجها بالأضداد الوحيدة النسيلة، هذا إضافة إلى أن المرضى الذين يمكن أن يتلقوا علاجاً بهذه الأضداد لا بد لهم من أن يتلقوها عبر (الحقن في عيادة أو مستشفى).



يلوم حيوان اللاما هذا في أحد مختبرات الشركة أبلينكس باصطناع أنواع غير مألوفة من الأضداد تنفرد بها لصيلة الإبل وتفيد كمادة خام للأجسام النانوية

البنية التشريحية لأحد الأضداد⁽¹⁾

تشترك ملايين الأصناف من الأضداد البشرية بالبنية الأساسية ذاتها: سلسلتان بروتينيتان كبيرتان (أو ثقيلتان) موسلتان بسلسلتين صغيرتين (أو خفيفتين). وفي قمة الذراعين يوجد زوج من القطع المتفاوتة التي تميز كل نموذج من نماذج الأضداد وتحدد الهدف الذي سترتبط به هذه الأجسام. ويكون الجسم الثانوي هو الجزء، المتفاوت من الضد الخاص بالجمال والذي يفتقد السلاسل الخفيفة؛ وهو يقارب عشر الضد في الحجم.



وكما يشرح <S> مولديرمانس<S> [وهو عالم أحياء متخصص بالبروتينات في الجامعة الحرة ببروكسل] فإن البروتينات النطاقية تطورت كقطع من أضداد مزدوجة السلسلة، تفوقها حجما بكثير، مما جعلها بطبيعتها تميل للاتصاق ببعضها. ولذلك فإن شدقها تنكس معا داخل البكتيريات التي تصنعها، وكذلك في داخل أجسام المرضى الذين يأخذونها كدواء. ويقلل تلاصق الجزيئات هذا من حصيلتها إنتاجها كما يعيق أداء عملها.

من الجمال العربي إلى الدواء⁽²⁾

بينما يواصل علماء الكيمياء الحيوية محاولة إعادة هندسة شدف الأضداد لحل هذه المشكلات، تقوم الشركة أبلينكس باستغلال بديل قديمته الطبيعة. ففي عام 1989، كان <مولديرمانس> ضمن مجموعة من علماء الأحياء بقيادة <H> هامرس<S> [من الجامعة الحرة] قامت بدراسة ملاحظة غريبة تم تقديمها كجزء من مشروع أعده أحد الطلبة حول الكيفية التي تحارب بها الجمال العربية (ذات السنم الواحد) والجواميس المائية الطفيليات. فقد بدا أن نتاج أحد الفحوص المختبرية التي أجريت على الأضداد في دم الجمال العربي خاضعة؛ فإضافة إلى الأضداد المعتادة ذات السلاسل الأربع، أشار الفحص إلى وجود أضداد أبسط منها تتكون من زوج من السلاسل الثقيلة فقط.

ويعد بضع سنوات من البحث، قام <هامرس> و <مولديرمانس> وزملاؤهما بنشر اكتشافهم التصادفي في مجلة *Nature* عام 1993. وأظهر هذا الاكتشاف أن نصف عدد الأضداد التي تدور في دماء الجمال العربية (وفي دماء الجمال الآسيوية ذات السنميين وحيوانات اللاما في أمريكا الجنوبية) تفتقد سلسلة خفيفة. كما وجد هؤلاء العلماء فيما يماثل هذا الاكتشاف مدعاة للدهشة، أن بإمكان هذه الأضداد الناقصة incomplete antibodies أن تحكم قبضتها على أهدافها بنفس عزم الأضداد العادية رغم أنها لا تملك إلا نصف عدد المناطق المحددة للتنامية CDRs التي تملكها الأضداد العادية. وخلافا للحال عند شدف الأضداد Fabs فإن الأضداد المكونة من

الحيوية (VIB) في بلجيكا] أن هذه المركبات تحتفظ بفعاليتها أثناء مرورها خلال المسلك المعدي المعوي للفئران، مما يعزز من أفاق ظهور حبات دواء تحتوي أجساما نانوية لعلاج مرض الأمعاء الالتهابي وسرطان القولون وغيرها من اضطرابات القناة الهضمية.

ولما كانت الأجسام النانوية أبسط بكثير من الأضداد في التركيب الكيميائي والشكل، فإنه من الممكن تكويدها من قبل جينة واحدة، ويسهل على الجراثيم اصطناعها. ففي عام 2002، قام بيولوجيون [من معهد يونيليرش للأبحاث في هولندا] بتحضير أكثر من كيلوغرام واحد من الأجسام النانوية، وذلك من صهرج معياري سعته 15 000 لتر مملوء بالخميرة (وهي حصيللة إنتاج تقدر بنحو 67 مليغراما لكل لتر)، في حين قدم علماء الشركة أبلينكس تقارير تفيد بأنهم حققوا حصيللة تزيد على غرام واحد من الأضداد لكل لتر من مستنبت الخميرة، وهذه معدلات إنتاج تفوق بشكل كبير معدلات الإنتاج النملية الخاصة بالأضداد الكاملة الحجم.

ويقول <T> شان هاورميرين<S> [الذي يدير التطوير التجاري للشركة]: «هذا إضافة إلى أن الأجسام النانوية التي ننتجها ثابتة التركيب في درجة حرارة الغرفة وذات عمر

سلاسل ثقيلة فقط لا يلتصق أحدها بالآخر. أما لماذا تختلف أنواع فصيلة الإبل عن بقية الثدييات فإنه يبقى لغزا يبحث عن حل، ولكن ربما كان التطور قد قدم عوناً لحل بعض من أصعب المشكلات المتعلقة بالأضداد وأشداها. فحينما قامت مجموعة <مولديرمانس> بتشذيب هذه الجزيئات المبتكرة وصولاً إلى قطعها المتفاوتة والمتميزة فحسب، احتفظت هذه القطع بالفة تثير العجب قوية إزاء أهدافها، وتساوي فعليا ألفة أضداد كاملة تكبرها عشر مرات من حيث الحجم. وكذلك كانت هذه البروتينات المختزلة أكثر رشاقة من الناحية الكيميائية، وقادرة على أن تلتحم بأهداف تتضمن المواقع الفعالة active sites للإنزيمات والصدوع في الأغشية الخلوية (التي تكون أصغر من أن تسمح لضد كامل بالمرور). وهكذا ولدت الأجسام النانوية، وأعقب ذلك بفترة قصيرة ظهور الشركة أبلينكس.

ولما كانت الأجسام النانوية أصغر بكثير من الأضداد، وكانت أيضا غير كارهة للماء كيميائيا (مثلا في حال الأضداد النطاقية) فإنها تكون أكثر مقاومة للحرارة ولطفرات الأس الهيدروجيني، حسبما يقول <مولديرمانس>. وقد أظهر <H> روتيرز<S> و <H> ريشتر<S> [من معهد فلاندرز للتقانة

From Dromedary to Drug (+)
Anatomy of an Antibody (++)

بناء الأضداد و الأجسام النانوية^(*)

وفقا للعلماء، في الشركة أبليتكس، فإن تخليق جسم نانوي فعال يتطلب وقتا ومالا أقل مما يتطلبه ضدٌ علاجيٌ ما. وفي كلتا الحالتين، فإن الجهاز المناعي للحيوان الحي هو الذي ينجز «التصميم» المبدئي لبروتين يستطيع أن يعلق بالجزء المستهدف، ومن ثم يقوم علماء الوراثة بوضع اللسعات الأخيرة على الدنا الذي يكوّن هذا البروتين بغية إضافة الخصائص المرغوب بها في دواء ما.

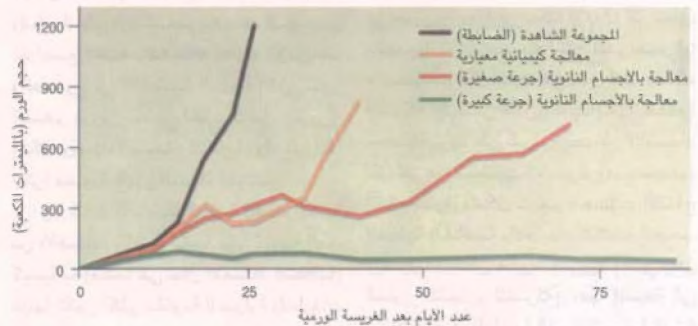


طريق تمنيع حيوانات اللاما بالمستضد المستهدف ومن ثم استخلاص الأضداد ذات السلاسل الثقيلة فقط من دمائها. وبالنسبة إلى بعض الحالات، مثل التهاب الرئوي، يمكن استخدام هذا الضد بدون تزيين unadorned كدواء عبر اعتراض سبيل الإشارات الخلوية الضارة إما عن طريق الارتباط بجزء الإشارة signal molecule أو عن طريق سطع clogging المستقبلات المسؤولة عن تلك الإشارات على سطوح الخلايا.

ومع ذلك، فإن واحدة من أكثر مزايا الأجسام النانوية قوة هي السهولة النسبية التي يمكن بها ضم البروتينات بعضها إلى بعض أو إلى أنواع مختلفة من المركبات، حسبما يقول «جو هارد»، الذي قام فريقه بربط أجسام نانوية مضادة للبروتين بأجسام نانوية أخرى نوعية الهدف target-specific، وذلك لإطالة أعمار النصف الخاصة بها في

من تخليق الأضداد [انظر الإطار أعلاه]. ويقول «إننا نستطيع أن نتقل من مستضد مستهدف معزول إلى أجسام نانوية ذات ألفة عالية في غضون أربعة أشهر» وذلك عن

تخزيني طويل من دون تجميد» ويُدعى «شان هاورميرين» أن تخليق أصناف جديدة من الأجسام النانوية يكون أقل صعوبة (ومن ثم أسرع زَمنا وأقل تكلفة)



تم اختبار أجسام نانوية مضادة لسرطان على الفئران بعد حقنها بخلايا ورمية بشرية. وفي حين أدى العلاج الكيميائي المعياري إلى مجرد تأخير نمو هذه السرطانات، فإن الجرعات العالية من الأجسام النانوية أجبرت الأورام على الهجرع remission.

الحيوانات ونقص وزنها مثلما يحدث في جميع العلاجات الكيميائية. ولم تتقلص أورامها إلا بدرجة صغيرة فقط. ولكن الأطباء أعطوا مجموعة أخرى من الفئران جرعة عالية من هذه الأجسام النانوية الثنائية الوظيفية مع الإنزيم الملحق بها، وانتظروا قليلا لإعطاء الفرصة للأجسام النانوية التي لم ترتبط بالمستقبلات ليمت ترشيحها إلى خارج الجسم، ومن ثم حقنوا طليعة الدواء. وكما كان متوقعا، فقد قامت الأجسام النانوية بتركيز العلاج الكيميائي على السرطان، متجنبين النسيج السليم فيما هي تقوم بقتل الأورام تماما.

وإلى حين تجتاز الأجسام النانوية التجارب السريرية، فإن أحدا لا يعرف ما إذا كانت ستعمل بالكفاءة نفسها لدى البشر مثلما تعمل لدى الفئران. ولكن إذا كان للأجسام النانوية نقطة ضعف قاتلة (بمثابة عقاب أخيل) فمن المحتمل جدا أن يكون هو الجهاز المناعي نفسه. وقد استنبط علماء الشركة أبلينكس طرقا لأنسة الأجسام النانوية، وكشفت دراسات على قردة الريحاب baboons أن هذه الحيوانات لا تثير استجابة مناعية على البروتينات الضئيلة الحجم الماخوذة من اللاما. ولكن «دي هارد» يقر بأن الأجسام النانوية قد لا تكون قادرة على تفادي شبكة المراقبة الخلوية المعقدة التي تحمي البشر. وستحدد نتائج تجارب السلامة السريرية في السنة القادمة ما إذا كانت الأجسام النانوية ستستمر في التقدم بنفس السرعة الهائلة التي تتقدم بها حاليا أو أنها ستكون أمام تعقيدات الجهاز المناعي البشري. ■



بإستطاعة علماء الهندسة الوراثية أن يستبدلوا بأجزاء من الأضداد الغائبة أخرى بشرية (اللون البرتقالي)، كما أنهم يستطيعون أن يشذبوا الضد لتكوين شدة ذات أحجام مختلفة.

4 بناء دواء ضدي نانوي



يمكن لجينات الأجسام النانوية أن تصفّر مع جينات لأجسام نانوية أخرى أو كيمائيات حيوية أخرى بغية استنباط أدوية يتم إنتاجها فيما بعد في مستنبتات البكتيريا أو الفطور أو الخمائر.

الخلايا الموجودة في الجوار المباشر.

لقد كانت الفئران هي «المرضى» التي حقنها العلماء بخلايا سرطانية بشرية، وسرعان ما نمت هذه الخلايا إلى أورام بحجم الكرات الصغيرة (الدُّحُل) التي يلعب بها الأطفال. وقد عالجت «ريفيثس» بعض الفئران بالعلاج الكيميائي فقط، فمضت تلك

الدم إلى أسابيع. كما قام الفريق بوصف أجسام نانوية يصل عددها إلى أربعة، وذلك لتكوين تجمعات «متعددة التكافؤ» يكون باستطاعة الجزيء الواحد منها أن يرتبط بأكثر من مستضد أو أن يرتبط بأحد مستضدين مختلفين أو بكليهما معا.

وحديثا، قام كل من «ريفيثس» و«مولديبرمانس» و«P. دو بسلير» [من معهد فلاندرز للتقانة الحيوية] بنشر نتائج مثيرة للإعجاب لتجربة قاموا فيها بتصميم أجسام نانوية لكي ترتبط بمستقبل على سطح خلايا سرطانية، وذلك لتتصق هذه الجزيئات بأي ورم تقابله في طريقها. وصمم هؤلاء الباحثون مجموعة من هذه الأجسام النانوية، بحيث تكون ثنائية الوظيفية، وذلك عن طريق وصل كل بروتين بإنزيم، وهنا يقوم هذا الإنزيم بتحويل مادة كيميائية أخرى (تسمى طليعة الدواء (prodrug)) من شكلها الطبيعي غير المؤذي إلى علاج كيميائي سام يقتل

المؤلف

W. Wayt Gibbs

كبير الكتاب في ساينتفيك أمريكان

مراجع للاستزادة

New Directions in Monoclonal Antibodies. Mark C. Via. Cambridge Healthtech Advisors, October 2004. Available at www.chadvisors.com

Nanobodies as Novel Agents for Cancer Therapy. Hilde Revets, Patrick De Baetselier and Serge Muyldermans in Expert Opinion on Biological Therapy, Vol. 5, No. 1, pages 111-124; January 2005.

Scientific American, August 2005

الاحتراق وصولاً إلى الصخر^(١)

قد تحترق الكواكب الغازية العملاقة ولا يتبقى منها سوى قلوبها الصخرية الصلبة.



قد تفقد الكواكب الغازية العملاقة أغلفتها الجوية وتمنحها لنجومها، وعندئذ تتحول إلى عوالم صخرية تسمى كوثونيات.

قلوبها صلبة. ولم يقرر العلماء نهائياً ما إذا كانت مراكز الكواكب العملاقة في نظامنا الشمسي ذات صلبة أم لا، واكتشاف الكوثونيات قد بثبت صحة أحد هذين السيناريوهين للتكوين الكوكبي.

ولدى مقراب المرصد الجنوبي الأوروبي في تشيلي فرصة ضئيلة للعثور على الكوثونيات في العام 2005، ذلك أنه يملك آلة جديدة قادرة على كشف كواكب كتلتها لا تتعدى 15 مثلاً من كتلة أرضنا، وذلك عن طريق اكتشاف شدات السحب التافلي الذي يحدثه كل من هذه الكواكب في النجم الذي يدور حوله. وأفضل فرصة لاكتشاف الكوثونيات سيوفرها أول مجسّن فضائيين يتمتعان بدرجة من الحساسية تكفي لرصد كواكب بحجم الأرض، وهما: الساتل الفرنسي كوروت COROT الذي سيطلق عام 2006، والسفينة الفضائية كبلر Kepler التي سيجري إطلاقها عام 2007 تقريباً. وقد تكشف هاتان البعثتان النقب عن عدة عشرات من الكوثونيات، وربما يكون اكتشافها نتيجة مرورها أمام نجومها واضعافها لسطوع هذه النجوم.

ويظن «بوروز» أن تكوين هذه الكواكب المنتمية إلى نظم شمسية أخرى قد لا يقتصر على الصخور. فإذا لم يُجرّد نجم كوكبها كوثونيا تابعا له من غلافه الجوي، فإن الجلائد الموجودة في قلب الكوكب العملاق قد تظل موجودة تحت هذا الغلاف، ويقول «ديزيتان» إن الكوثونيات قد تدعم وجود حياة عليها، مع أنه يكاد يكون من المؤكد أن هذه الحياة سوف تكون «مختلفة جداً عن تلك التي نعرفها على أرضنا».

Ch. تشوي

الأصفر، أو تلك الكواكب التي هي أقرب إلى نجومها من أوزيريس.

ربما يؤدي هذا إلى طائفة جديدة من الكواكب - هي قلوب قاسية عارية لكواكب عملاقة ماتت. وقد سمى الفلكيون هذه العوالم كوثونيات chthonians نسبة إلى الآلهة اليونانية البدائية التي كانت موجودة في العالم السفلي، وفي بحث سيُنشر في الدورية *Astronomy and Astrophysics*، يذكر الفلكي «A. ديزيتان» [من معهد الفيزياء الفلكية] ومعاونوه، أن الكواكب الأربعة التي اكتُشفت حتى الآن قد تتحول إلى كوثونيات في المستقبل. ومع أن الكوثونيات هي بقايا عوالم كبيرة جداً، فإن كتلتها أكبر من كتلة الأرض بنحو 10-15 مرة فقط، وأقطارها أكبر من قطر الأرض بنحو 6-8 مرات. ويتصور «ديزيتان» أن درجات الحرارة العالية التي تصل إلى 1000 درجة سيلزية على سطوح هذه العوالم، تجعلها تبدو مثل كواكب لابة lava planets. ويلاحظ «فيدال - مادجر» أنه إذا كانت الكوثونيات موجودة فعلاً «فمن المحتمل أن تكون أول كواكب صخرية تكتشف حول نجوم أخرى». (اكتشف منها ثلاثة كواكب في العقد الأخير من القرن الماضي: اثنان لهما كتلة أكبر من كتلة الأرض بنحو 3-4 مرات، وكتلة الثالث ضعف كتلة القمر. ومن المحتمل جداً أن تكون صلبة، لكنها جميعاً تدور حول نجم نباض pulsar).

ويرى الفلكي «A. بوروز» [من جامعة أريزونا] أن اكتشاف الكوثونيات سيساعد على الإجابة عن أسئلة تتعلق بتكون الكواكب. ويظن الباحثون أن العوالم تولد من أقراص من الغاز والغبار تدور حول النجوم. ويذهب الرأي الأكثر شيوعاً إلى أن القلوب الصلبة تتكس من أقراص كوكبية بدائية، وتسلك سلوك البذور، إذ إنها تجذب الغاز نحوها لتنمو وتتحوّل إلى كواكب عملاقة.

وتتسرح النظرية البديلة أن الكواكب العملاقة ربما لا تملك قلوباً جامدة، بل ربما يكون لها مراكز مائعة تكثفت مباشرة من الأقراص الكوكبية البدائية دون أن تكون

قد تكون أول العوالم الصخرية التي تم اكتشافها وهي تدور حول نجوم أخرى، أقرب شبيهاً بجهنم منها بالأرض. ووجود مثل هذه الكواكب المغلفة بالحجم البركانيّة (اللابة) lava، الذي قد يتبين أنه أمر عادي، سيجبر العلماء على إعادة النظر في النظريات المتعلقة بتكون الكواكب.

لقد اكتشف الراصدون منذ عام 1991 نحو 120 كوكباً خارج منظومتنا الشمسية، وقد كانت جميعاً، باستثناء ثلاثة منها، تبدو عملاقة غازية بسبب حجومها الكبيرة وكثافتاتها المنخفضة. ومن المثير للدهشة أن يكون نحو سدس هذه الكواكب «كواكب مشتروية حارة» قريبة من نجومها، وجميعها أقرب إلى نجومها من قرب عطارد إلى الشمس.

بعض هذه الكواكب المشتركة الحارة تعيش قريباً جداً من نجومها، مما يسبب المشكلات لهذه الكواكب. وفي عام 2003، وفّر مقراب هبل الفضائي أول دليل على وجود غلاف جوي يتبخّر من واحد من هذه الكواكب - HD 209458 b - الذي يدور حول نجمه على مسافة أقل من 1/20 من المسافة بين الشمس والأرض، والنجم يشوي الكوكب ويدفعه نحوه بفعل ثقاليته، وتكون النتيجة هي أن ينفث الكوكب ما لا يقل عن 10 000 طن من الغاز في الثانية، وهذا الغاز ينتشر على شكل ريشة ضخمة طولها 200 000 كيلومتر. وقد أطلق «A.

فيدال - مادجر» [من معهد الفيزياء الفلكية بباريس] وفريقه البحثي على عالم هذا الكوكب اسم «أوزيريس» Osiris نسبة إلى الإله المصري الذي مُرّق أشلاءً من قبل أخيه الشرير سيت Set.

لدى تأمل «فيدال - مادجر» وفريقه مصري أوزيريس، أجرى حساباً للمدة التي قد يعيشها هو وعمالقة آخر. وقد توصّلوا إلى أن هذا الكوكب، الذي تعادل كتلته نحو 220 مثلاً من كتلة الأرض، يفرض سحباً ثقالياً قويا إلى درجة تجعله قادراً على الاحتفاظ بجوهِ إلى أن يموت نجمه. لكن الباحثين يعتقدون أن المعدل الهائل للتبخّر قد يسفر عن استبعاد جميع غازات الكواكب المشتركة الحارة